

EVALUATION AND QUANTIFICATION OF ERRORS IN THE ESTIMATION OF DISCHARGES FROM RATING-CURVES

Davi de Carvalho Diniz Melo¹, Cristiano das Neves Almeida², Uiara Talitta Martins de Araújo², Vitor Hugo Rabelo Coelho², Alain Marie Bernard Passerat de Silans²

¹Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Brasil; ²Universidade Federal da Paraíba – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasil

Email do autor: di_diniz@yahoo.com.br

ABSTRACT – Due to several factors, rating curves have been used for estimating flow in river channels. Although it consists of a simple method and frequently gives good results, some cares must be considered before making use of the calculated discharges. In this study, discharges calculated by conventional rating curves and by the Manning's equation were compared as well as the possible errors caused by using those approximations. The study was carried out in a discharge gauge installed in Mamuaba river, in Paraíba State, since the beginning of project BEER (Experimental and Representative Watersheds in Semi-Arid). Results show that, for the study area, both methods had equivalent results for the most part of the analyzed period. On another analysis, concerning the modifications occurred at the monitored river cross section, it was observed that, due to a destabilization of the cross section geometry, the quality of the results estimated by the rating curves were negatively affected. Finally, the influence of rainfall events over the geometric stability of the studied river cross section is analyzed.

PALAVRAS CHAVE: curva-chave, medições de vazão, equação de Manning.

INTRODUÇÃO

No monitoramento hidrológico de bacias hidrográficas, vários são os dados levantados para posterior utilização: temperatura do ar e/ou solo, radiação solar, velocidade do vento, pluviometria, etc. Atualmente, esses dados podem ser obtidos a partir de estações que funcionam de forma automática, reduzindo significativamente o trabalho humano.

No ciclo hidrológico, um dos dados mais importantes é a vazão de rios e riachos, pois permite a avaliação de potencialidade e disponibilidades de bacias hidrográficas. Distintamente dos outros fenômenos acima citados, a medição da vazão normalmente não descarta a presença humana. A utilização de estações fluviométricas, nas quais se mede continuamente a lâmina escoada no rio, é uma forma de sobrepor essa necessidade da ida a campo para medir vazão que, além de demandar tempo, envolve elevados custos (Clarke e Brusa, 1999). Do estudo de canais, sabe-se que, conhecidas as características geométricas de um canal, a vazão pode ser calculada a partir de uma lâmina d'água escoada. Em rios, essa lâmina pode ser obtida a partir de estações fluviométricas, possibilitando relacionar vazão escoada com altura de água medida, obtendo-se a chamada curva-chave (Chaudhry, 2008).

Destaca-se, entretanto, que não é possível haver uma única relação cota-descarga a não ser que o fluxo seja uniforme (Handerson, 1966). Assim, as vazões calculadas por curvas-chave estão sujeitas a incertezas, especialmente em casos extremos de enchentes (Overleir e Reitan, 2009). A respeito dessas incertezas, um estudo mais detalhado, utilizando métodos probabilísticos, foi realizado por Clarke (1999). Essas incertezas podem ser mais significativas em curvas-chave traçadas de forma tradicional. Em função disso, alguns trabalhos mostram alternativas mais eficientes para se obter uma curva-chave. Leonard et al. (2000) propuseram uma forma modificada da equação de Manning, a fim de exprimir a vazão como função do raio hidráulico e da declividade, já que não é simples se obter uma relação confiável entre descarga e altura de água. Outra proposta foi feita por Sahoo e Ray (2006), os quais constataram que a curva-chave desenvolvida através de redes neurais artificiais produziu resultados melhores que aqueles produzidos pela curva-chave convencional.

A escolha do método a ser utilizado levará em consideração fatores como erros resultantes, praticidade de aplicação, entre outros. Há inúmeras maneiras de estimar os erros envolvidos ao se determinar vazões a partir de curvas de calibração. Considerando que os erros são de três espécies: erros na curva-chave, na medição do nível d'água e erros ao se ignorar quase todos os parâmetros físicos, com exceção do nível d'água; Dymond e Christian (1982) revisaram métodos de avaliação dos dois primeiros casos e sugeriram outro para avaliar o terceiro tipo.

Outros estudos foram feitos considerando que os erros podem ser estudados pontualmente ou como erro da vazão média num período. Para o primeiro caso, Dickinson (1967) sugeriu uma forma de avaliar a qualidade da curva-chave a partir do estabelecimento de limites de confiança entre os quais seria aceitável se ter as vazões obtidas pela função ajustada.

O objetivo deste trabalho é analisar possíveis erros resultantes da determinação de uma curva-chave no rio Mamuaba, localizado na região litorânea do Nordeste do Brasil, em região sedimentar, onde há mudanças periódicas da seção transversal. Buscou-se também avaliar a possibilidade de traçado de uma curva cota-descarga embasada na equação de Manning. Por fim, analisou-se a influência de eventos chuvosos na mudança da seção transversal em estudo.

Inicialmente, foi feito o traçado da curva-chave de forma convencional, apenas relacionando as alturas d'água escoada com as vazões. Em seguida, repetiu-se o processo levando em conta fatores geométricos e temporais. Por fim, será feita uma comparação dos resultados obtidos através da modelagem da curva-chave utilizando a equação de Manning e os erros resultantes dessas aproximações.

METODOLOGIA

A metodologia descreve, primeiramente, a área de estudo. Em seguida, apresenta, a forma como foi efetuada a coleta dos dados e a medição da vazão, seguido do processo de tratamento dos dados. Por fim, o traçado das curvas-chave, um breve embasamento teórico da equação de Manning e como foram analisados os erros.

Área De Estudo

O presente trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Gramame (Figura 1), que possui uma área aproximada de 590 km², banhando sete municípios importantes do litoral sul do Estado da Paraíba, incluindo a sua capital João Pessoa. Está localizada entre os paralelos 7°11' e 7°24' de latitude sul e 34°48' e 35°10' de longitude oeste. O local escolhido para a realização das medições de vazão é apresentado na figura 1, e corresponde a uma seção de um dos principais rios da bacia, o Mumuaba, que juntamente com o rio Gramame fornecem água para o açude Gramame-Mamuaba, responsável pelo abastecimento d'água de cerca de um quarto da população do Estado da Paraíba, com capacidade de armazenamento na ordem de 56 milhões de m³ (SEMARH, 2001).

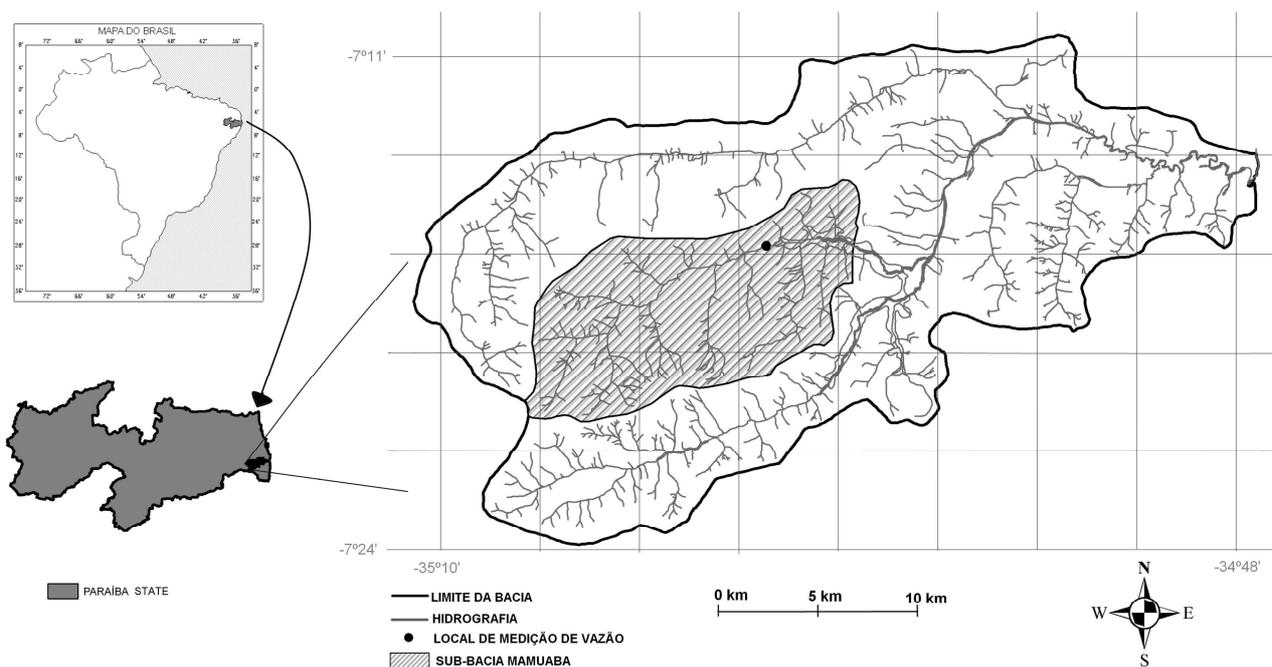


Figura 1.- Mapa de localização das medições de vazão

A maior parte da bacia estudada encontra-se assentada sobre os sedimentos da Formação Barreiras, de idade Terciária, com aluviões e coberturas arenosas mais específicas. A classificação climática para a região de acordo com Köppen (1948), indica para um clima tropical chuvoso do tipo As', quente e úmido, sem períodos frios e com chuva predominante de outono-inverno. Sua temperatura apresenta-se elevada durante o ano todo, com uma média de 26°C, enquanto que a precipitação média anual varia entre 1.400 e 1800 mm.

Aquisição e Processamento dos Dados

Os dados de altura de lâmina d'água foram obtidos a partir de uma estação fluviográfica instalada numa seção do rio Mamuaba. A medição dos mesmos é feita automaticamente a cada 10 minutos por meio de um sensor de nível e registrados em *datalogger*. A cada 15 dias uma equipe vai a campo para ler os dados armazenados no *datalogger*.

A medição de vazão e coleta de dados na estação fluviográfica são realizadas mensal e quinzenalmente, respectivamente. Esses trabalhos são feitos no âmbito do Projeto BEER (Bacias Experimentais e Representativas) e tiveram início no ano de 2003, quando do início do mesmo. Os dados utilizados neste trabalho correspondem ao período de 2003 a 2009.

A medição de vazão é feita utilizando o micromolinete tipo C2 da OTT. O trabalho inicia-se com a escolha de uma seção adequada, que não conte com curvas e seja a mais estável possível. Escolhida a seção, parte-se para o levantamento batimétrico da seção transversal. Este levantamento pode ser realizado de forma simples, com uma trena e uma régua. Determinada as características geométricas da seção transversal, são então realizadas medidas da velocidade com auxílio de um micromolinete.

Com os dados do levantamento batimétrico e medições de velocidades, faz-se o cálculo das vazões utilizando a planilha MolinX (Almeida et al., 2009), implementada em VBA (*Visual Basic for Application*). Os principais resultados fornecidos pela planilha são: vazão, área molhada da seção transversal, velocidade média de escoamento e perfis de velocidade de escoamento. Nessa mesma planilha são calculados alguns parâmetros geométricos da seção: raio hidráulico, área molhada e perímetro molhado. A partir dos dados de entrada do MolinX, implementou-se uma rotina em VBA (*Visual Basic for Application*), cuja função é gerar um script para o AutoCAD que, ao ser lido por este, desenha as seções em escala. Uma vez desenhadas, as seções foram organizadas cronologicamente.

Traçado dos Gráficos

Tendo os dados preparados, partiu-se para o traçado da curva-chave. Para esse fim, plotaram-se num gráfico os valores de vazão previamente calculada versus as cotas lidas na estação fluviográfica. Com o intuito de compreender o comportamento da seção transversal e suas características geométricas, foram observadas as variações de: profundidade máxima; área molhada; perímetro molhado; largura da seção; e perfil transversal, ao longo do tempo e correlacionados entre si.

Equação de Manning

A equação de Manning se trata de uma fórmula semi-empírica para cálculo de vazão para escoamento livre, uniforme e uni-dimensional. Para possibilitar seu uso, foi escolhida uma seção de monitoramento de baixa declividade longitudinal, de forma que, para o intervalo de tempo necessário à medição de vazão, o escoamento fosse aproximadamente uniforme. Uma forma de representá-la é mostrada a seguir:

$$Q = \frac{1}{n} A \times R_H^{2/3} \times S^{1/2} \quad [1]$$

onde, Q é a vazão, n é o coeficiente de rugosidade, A é a área da seção transversal, R_H é o raio hidráulico e S é a declividade longitudinal do canal. A partir do levantamento batimétrico, obteve-se a área transversal e o raio hidráulico, conforme descrito anteriormente.

Em função do conhecimento da altimetria da área de estudo, é possível assumir uma declividade do rio constante sem que isso afete significativamente os resultados. Essa mesma hipótese será adotada para com o coeficiente de rugosidade, tendo em vista que este pode ser considerado constante em canais naturais (Chow et al., 1988).

A declividade (S) foi calculada in loco, medindo-se a diferença de nível (Δh) da superfície líquida em duas seções transversais distantes de 5,0 m entre si. Para determinar o valor de Δh , utilizou-se uma mangueira de nível. Dessa forma, obteve-se $S = 0,001$ m/m.

São encontradas na literatura, tabelas que sugerem faixas de valores de n para diversos materiais de revestimento de canais. Para a área de estudo, o rio é caracterizado por um leito arenoso e paredes parcialmente cobertas de vegetação, sendo recomendado um valor de n entre 0,045 a 0,060 (Porto, 2009). O valor final de n foi então ajustado manualmente em função dos valores obtidos pela equação (1) e as vazões medidas, obtendo-se $n = 0,054$.

Surgem então duas possibilidades para se utilizar a equação de Manning para o cálculo das vazões. A primeira seria utilizar os dados batimétricos medidos em campo, dispensando somente as medições de velocidade. Para que se possa utilizar de fato uma curva-chave ajustada a partir da equação de Manning, se faz necessário relacionar a altura de água medida e a parcela $A \times R_H^{2/3}$ da equação (1).

Adaptando-se a metodologia de extrapolação adotada por Barreto (2006) para estimar o fator geométrico de uma seção, foi ajustada uma função $g = A \times R_H^{2/3} = f(h_{med})$ para que, a partir desta, pudesse ser então aplicada à equação de Manning.

Análise de Erros

As vazões obtidas através da curva-chave e da equação de Manning foram, graficamente, comparadas com as vazões medidas em campo. Para tanto, foram traçados três hidrogramas com as vazões: observadas, calculadas por Manning e calculadas pela curva-chave.

Com o intuito de associar o deslocamento da curva-chave às variações da geometria da seção transversal, analisou-se mais detalhadamente o comportamento desta ao longo do tempo. Para tanto, foram tomadas as seções desenhadas conforme descrito no item Aquisição e Processamento dos Dados e, considerando um mesmo ponto de referência, seções de medições consecutivas foram sobrepostas duas a duas. Dessa forma, foi possível calcular a área transversal erodida ou assoreada.

Foram calculados os erros relativos decorrentes da aplicação de ambas as metodologias utilizadas no cálculo das vazões. Graficamente, visualiza-se qual método se apresentou mais adequado ao caso estudado. Sendo Q_{obs} a vazão observada e Q_{calc} a vazão calculada, os erros relativos foram calculados por:

$$e = \frac{Q_{obs} - Q_{calc}}{Q_{obs}} \quad [2]$$

Por fim, foi feita uma análise através da distribuição de frequência dos erros relativos resultantes de cada método. Na análise estatística, uma distribuição de frequência pode ser aproximada através de uma distribuição gaussiana, simétrica em relação à média dos dados. Quanto mais espalhada for a distribuição, maior é o desvio padrão. Assim, é preferível que a distribuição seja a mais simétrica possível e mais próxima da média. Para avaliar os métodos, observou-se, portanto, o comportamento da distribuição dos erros relativos.

RESULTADOS

Traçado da Curva-Chave

O traçado da curva-chave foi, inicialmente, feito diretamente a partir dos dados coletados e vazões medidas, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1.– Dados medidos em campo utilizados para traçado da curva-chave.

Vazão [l / s]	h_{med} [m]	Data	Vazão [l / s]	h_{med} [m]	Data
434,2	0,25	07/10/03	439,8	0,23	05/04/06
517,9	0,27	21/10/03	777,0	0,31	09/05/06
470,2	0,24	18/11/03	836,8	0,40	11/08/06
1603,9	0,71	17/08/04	331,6	0,14	17/01/07
988,4	0,54	31/08/04	416,6	0,25	21/03/07
975,2	0,52	14/09/04	455,8	0,35	29/05/07
860,8	0,46	08/10/04	1280,4	0,79	09/07/07
693,0	0,37	05/11/04	496,8	0,49	08/11/07
531,9	0,25	19/01/05	232,9	0,22	05/03/08
627,8	0,27	18/02/05	629,5	0,53	30/09/08
456,0	0,18	04/03/05	437,8	0,41	05/12/08
528,9	0,21	27/04/05	564,1	0,38	20/02/09
1012,9	0,49	29/07/05	653,5	0,48	20/03/09
460,5	0,25	15/12/05	1152,5	0,71	01/06/09
433,7	0,32	12/01/06			
464,0	0,20	17/03/06			

A partir dos dados da Tabela 1, traçou-se a Figura 2 na qual os pontos possuem diferentes dimensões em função do tempo. Com isso, foi possível observar que há um deslocamento gradual da curva a ser ajustada. Tal deslocamento se torna mais evidente a partir do ano de 2007. Embora não seja o objetivo deste trabalho investigar sua causa, conjectura-se que o referido deslocamento seja resultado de

mudanças acentuadas na seção de monitoramento, possivelmente resultante de precipitações de grande intensidade ocorridas no período.

Devido ao deslocamento descendente observado, optou-se por traçar duas curvas: C1, para o período de 2003 a 2006, e C2, para 2007 em diante (Figura 3). Deste ponto em diante, o conjunto de curvas C1 e C2 serão referidas como C12.

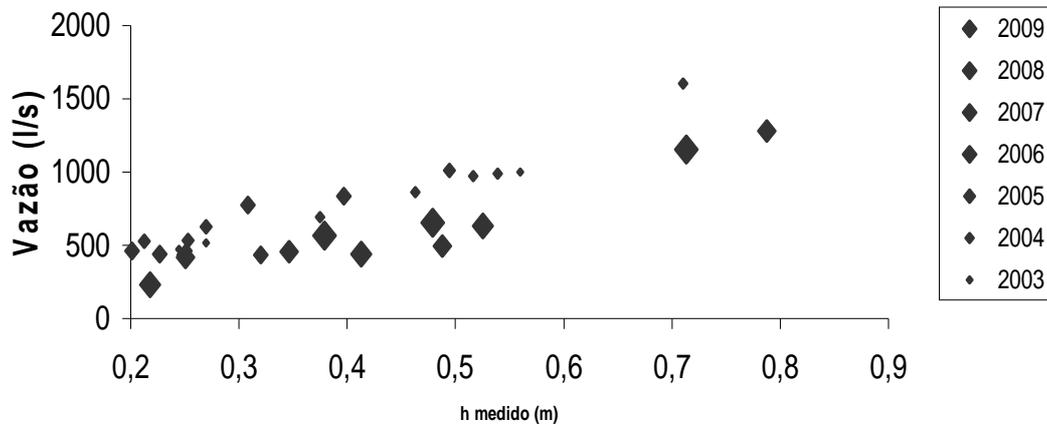


Figura 2.- Relação cota-descarga em perspectiva temporal.

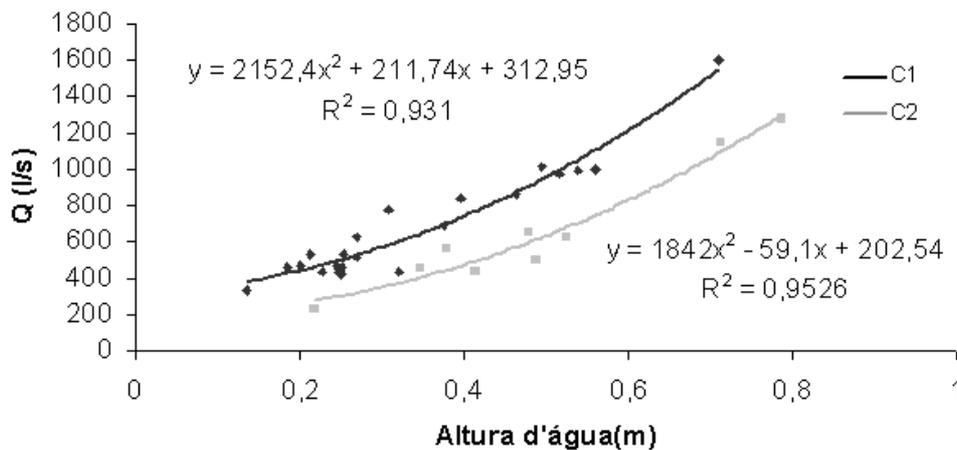


Figura 3.- Curvas por períodos.

Variações das características geométricas da seção transversal são comuns em canais naturais cujo leito é arenoso. Normalmente, tais variações são resultados de processos de sedimentação e erosão, fortemente influenciados pela precipitação (Sadeghi et al., 2008). No caso da seção em estudo, tal variação ocorre de forma considerável como pode ser observado na Figura 4, que mostra a mesma seção transversal de monitoramento em diferentes momentos, organizadas cronologicamente, na mesma escala, posicionadas em relação a um mesmo referencial representado pela linha horizontal. Devido à falta de referencia em algumas medições, estas não são mostradas na Figura 4.

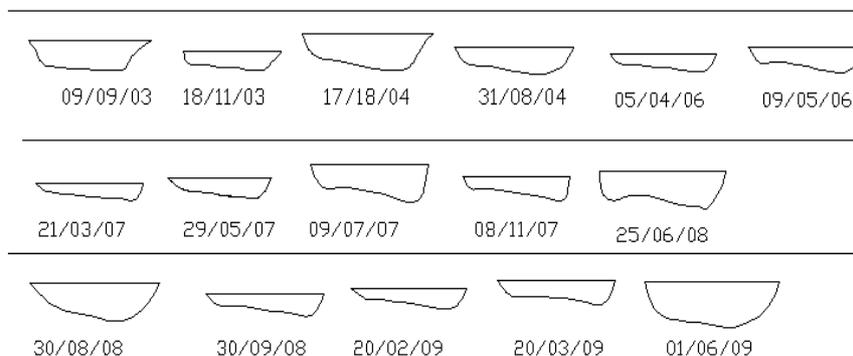


Figura 4.- Seções transversais em relação a uma mesma referência

A partir das áreas calculadas conforme descrito na metodologia, áreas acumuladas foram calculadas e plotadas (Figura 5). Valores negativos ou positivos destas significa que houve erosão ou

assoreamento do leito, respectivamente. Observa-se que ao final do ano de 2007, as áreas acumuladas começam a apresentar maiores magnitudes. Isso implica no fato de que, desse período em seguida, o volume de sedimentos assoreados e erodidos aumentaram significativamente, influenciando diretamente na unicidade e estabilidade da curva-chave.

Como já comentado anteriormente, atribui-se aos altos índices pluviométricos, mudanças significativas ocorridas na seção transversal. Esse fato pode ser nitidamente percebido também através da Figura 5, onde são mostradas as precipitações ocorridas nos períodos, em escala mensal e diária. Observa-se que no período que antecede as mudanças citadas, a precipitação máxima diária se aproxima de 150 mm. Pode-se ver também que há uma tendência de aumento da precipitação mensal, no período de modificações da seção. São mostradas também as áreas erodidas ou assoreadas entre medições consecutivas. É possível observar que entre o início do ano de 2007 e o final do primeiro semestre desse mesmo ano, uma grande quantidade de material foi erodido. Em seguida, outro grande volume é depositado, confirmando o que foi mostrado na Figura 4.

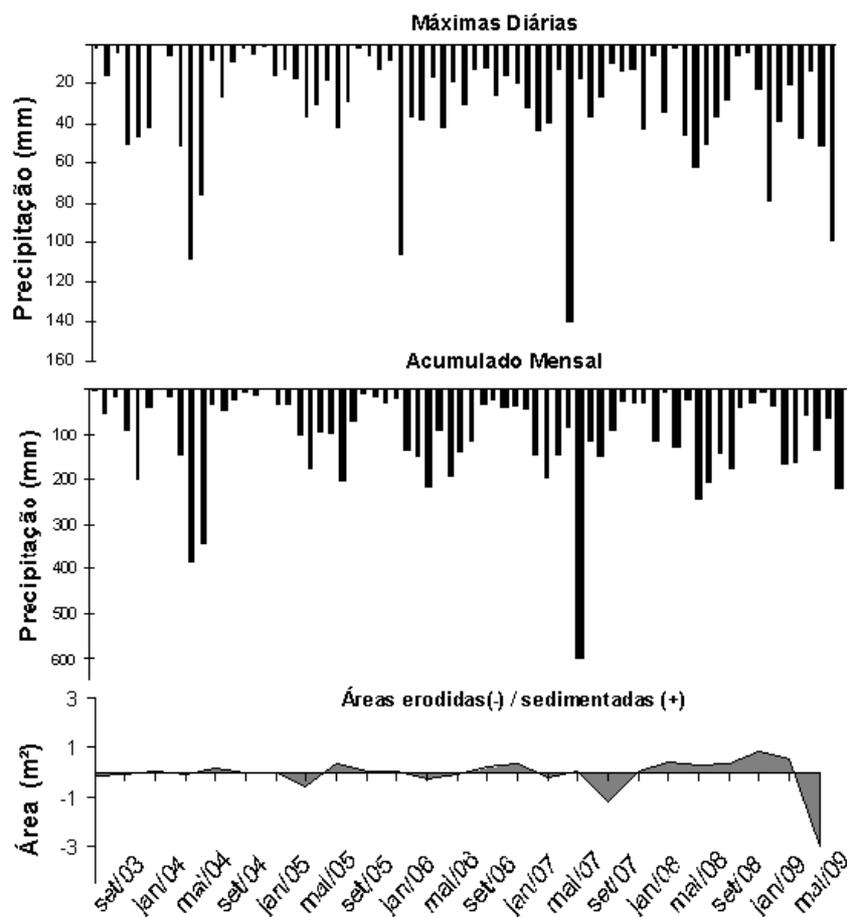


Figura 5.- Comparação gráfica de áreas erodidas/assoreadas.

Na Tabela 2, apresentam-se os dados de pluviometria anual, que se encontram plotados na Figura 6. Desta tabela e do gráfico pode-se notar que a partir de 2007 as precipitações anuais foram acima da média, explicando-se assim melhor os fenômenos de sedimentação e erosão da bacia hidrográfica.

Tabela 2 - Precipitação anual num posto pluviográfico instalado na bacia experimental.

Ano	Precipitação anual (mm)
2004	1.249,43
2005	859,82
2006	1.190,76
2007	1.661,65
2008	1.759,97
2009	1.934,21

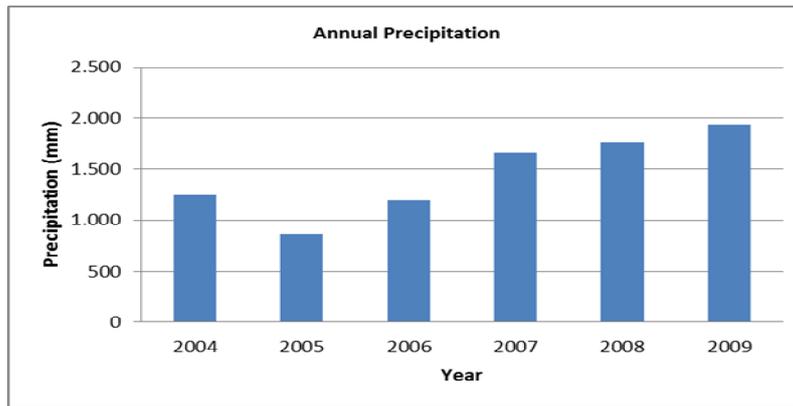


Figura 6 -Distribuição da precipitação anual.

Comparação entre Vazões Calculadas Pelas Diferentes Curvas

Tendo em vista, os resultados mostrados anteriormente, fica evidente a necessidade de se incluir os parâmetros geométricos ao processo de traçado da curva-chave. Uma vez calculados tais parâmetros, o cálculo da vazão por Manning se torna simples, resumindo-se a aplicar a eq. (1). A Figura 7 mostra os hidrogramas gerados pelas vazões observadas (Q_{obs}), calculadas pela equação de Manning ($Q_{Manning}$) e através do conjunto C12 (Q_{cc}). Observa-se que as vazões calculadas de alta magnitude apresentaram melhor aproximação com as vazões observadas do que as de baixa magnitude. Esse fato fica evidente no ano de 2006, onde $Q_{Manning}$ apresentou um pico não constatado na medição, enquanto Q_{CC} , visualmente, aproximou-se de Q_{Obs} .

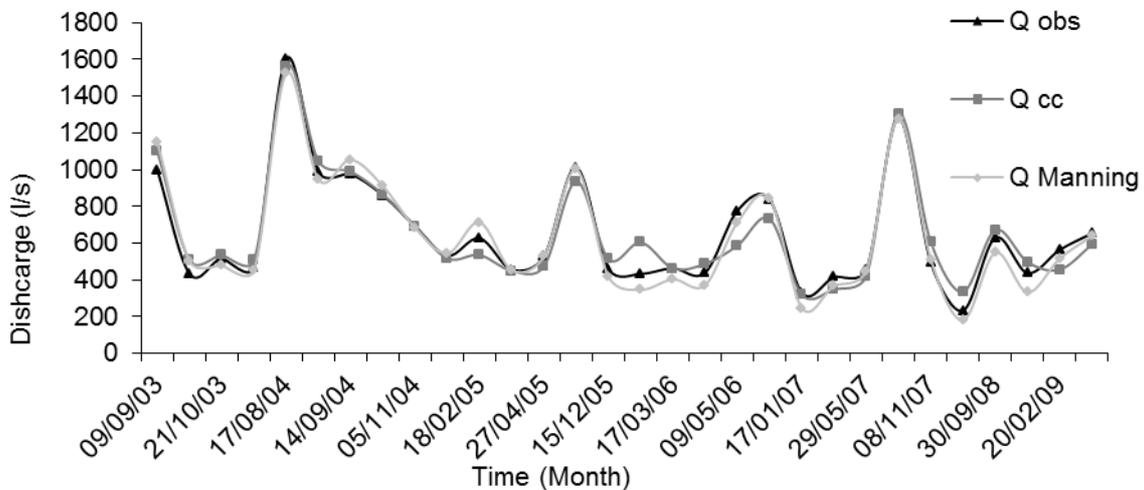


Figura 7.- Hidrograma

Comparando $Q_{Manning}$ e Q_{CC} (Figura 8), observa-se que, de fato, há quase que uma relação linear entre as vazões de alta magnitude, enquanto que não há uma proporcionalidade para as baixas vazões.

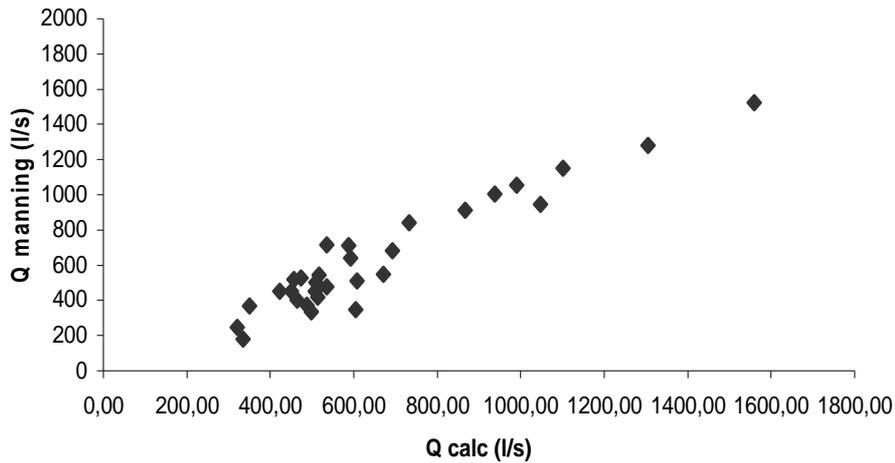


Figura 8.- Comparação entre vazões $Q_{Manning}$ e Q_{CC}

Ao se ajustar curvas para os dois períodos considerados aos pontos do gráfico $g = A \times R_H^{2/3} = f(h_{med})$ (Figura 9), foi possível traçar uma nova curva-chave (C_{MC}) a partir das vazões calculadas pela equação de Manning utilizando os termos $A \times R_H^{2/3}$ calculados anteriormente.

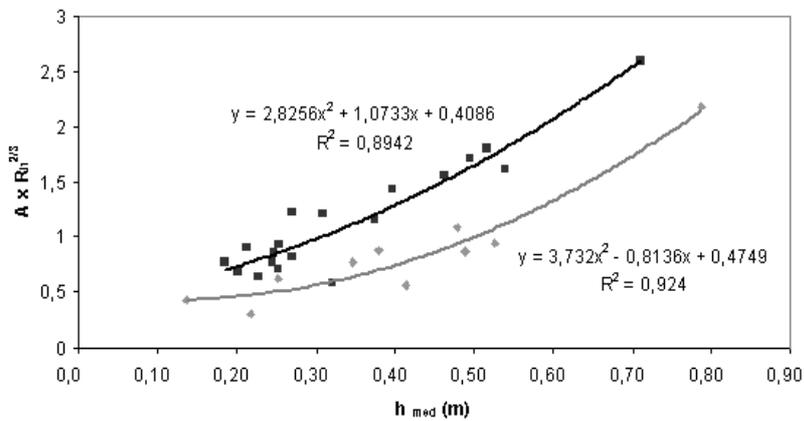


Figura 9.- Funções ajustada para substituição do termo $A \times R_H^{2/3}$ da equação de Manning

Análise dos Erros

Na fase de análise de erros, foram consideradas três curvas. Duas destas são o conjunto C12 e C_{MC} . A terceira opção se trata de uma curva única (C3) ajustada para todo o período (Figura 10). Para ajustar uma a curva C3, buscou-se a função que resultasse num maior valor de R^2 . Dentre as funções Polinomial, Logarítmica, Potência e Exponencial, a que apresentou melhor coeficiente de variação foi a primeira.

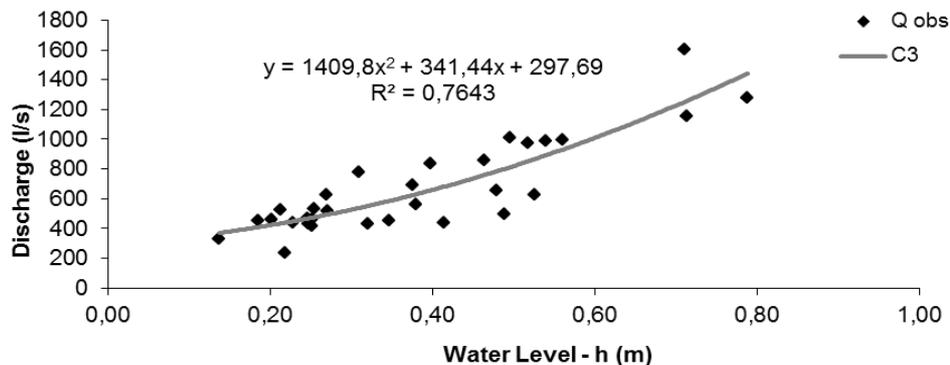


Figura 10.- Curva C3.

Considerando as três curvas citadas, foram calculados os erros relativos (Figura 11). A curva C3 apresentou os resultados mais pobres, atingindo erros de mais de 50%. Em grande parte dos resultados, os erros causados pelas curvas C12 e C_{MC} são próximos, distanciando-se entre si a partir do período de instabilidade maior da seção (ano de 2007).

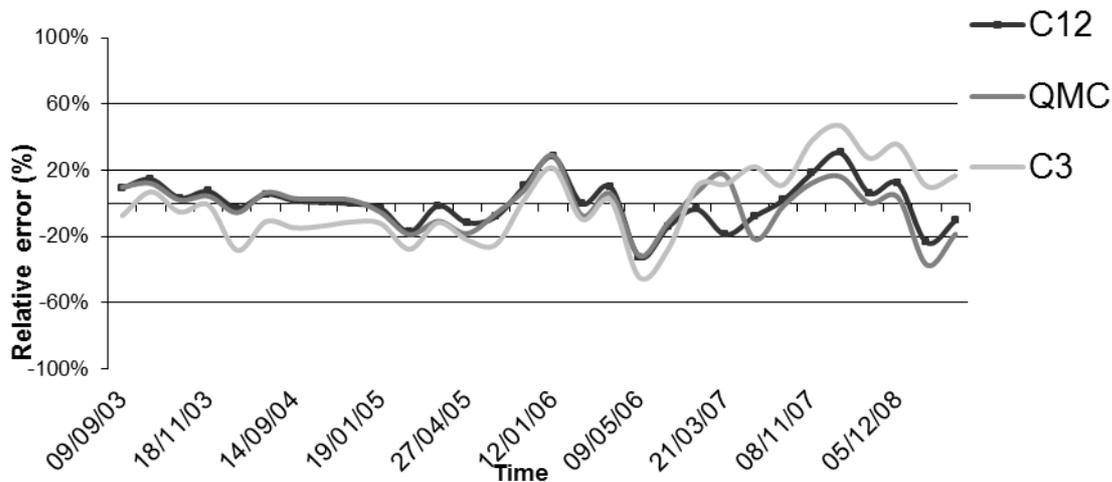


Figura 11.- Comparação entre as curvas em função dos erros relativos.

Por fim, foram gerados gráficos de distribuição de frequência dos erros. Com esses gráficos é possível avaliar se a frequência com que os mesmos ocorrem é maior para os maiores ou menores erros. Assim, os melhores resultados serão aqueles que apresentarem um gráfico de distribuição de frequência menos espalhada e com maior simetria em torno de 0%.

Observa-se na Figura 12 –Distribuição de frequência de erros relativos que apenas os erros relativos da curva C3 não apresentam simetria em torno de 0%, havendo uma maior frequência na faixa de -15%. Por outro lado, a característica da simetria é bem representada por C12. Embora os erros relativos de C_{MC} se concentrem próximo a zero, a ocorrência de erros menores que -30% em maior frequência do que no intervalo entre -30% e -20% podem gerar dúvidas a respeito da qualidade de seus resultados. Entretanto, esses erros surgem no período de desestabilização da seção de monitoramento, fato que afetou a qualidade dos resultados de todos os métodos, conforme mostrado na Figura 11. Por outro lado, ainda a respeito de C_{MC} , tem-se frequência nula para erros maiores que 15%. Destaca-se ainda que os erros gerados por C3 são os que possuem maior frequência de ocorrência para todos os valores de erros relativos, não apresentando nenhuma simetria.

A análise da distribuição de frequência dos erros relativos corrobora com o apresentado pela Figura 11.

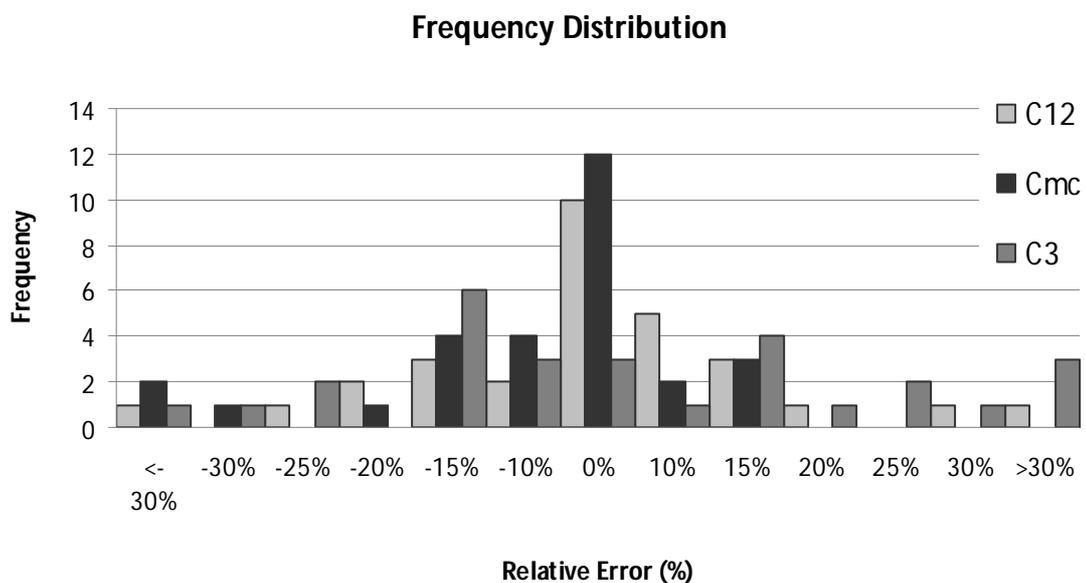


Figura 12 –Distribuição de frequência de erros relativos

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise realizada no item anterior, as seguintes considerações finais são apresentadas:

O estabelecimento de curvas-chave, sem estarem vinculadas aos parâmetros geométricos da seção transversal, pode resultar em erros de considerável magnitude. Eventualmente, a utilização de vazões obtidas dessa maneira para calibração de modelos hidrológicos poderá comprometer a qualidade dos resultados do modelo.

A equação de Manning, embora que em sua formulação considere a geometria da seção, apresentou resultados equivalentes aos obtidos pelo conjunto C12. Isso porque, ao se ajustar uma função para substituir o termo $A \times R_H^{2/3}$ da equação, incorpora-se um erro ao resultado. Em canais de seção transversal constantes, essa aproximação não gera incertezas, pois a relação do referido termo com a altura é uma função unívoca. Em canais naturais, por outro lado, não havendo normalmente tal correlação exata, o erro é inevitável. Nesses casos, somente através do levantamento batimétrico frequente, é possível ter melhores aproximações com os dados observados.

Por outro lado, a equação de Manning se apresenta como uma alternativa viável no cálculo de vazões quando não se dispõe de todos os equipamentos comumente utilizados para este fim, a exemplo do micromolinete. Assim, dispende-se do necessário para realizar apenas batimetria da seção de medição e a declividade, a equação de Manning apresentou resultados satisfatórios.

Ao estudar as modificações ocorridas na seção de monitoramento, observou-se a influência das precipitações pluviométricas nesse fenômeno. Ressalta-se, portanto, a importância em se manter o monitoramento periódico da seção de medição, especialmente após eventos chuvosos extremos. Tais eventos podem gerar instabilidades na geometria do leito, interferindo diretamente nas vazões calculadas.

O levantamento batimétrico da seção, como realizado no âmbito do projeto BEER, permite também a avaliação de volumes erodidos e sedimentais. Embora estes não tenham sido quantificados neste artigo.

Por fim, embora as aproximações de curvas-chave utilizadas tenham se apresentado satisfatórias, observa-se que o deslocamento de material no leito do rio, ainda que apresente certa periodicidade, não voltou a apresentar a mesma ordem de grandeza de antes do período de altos índices pluviométricos. Têm-se, então, consideráveis deslocamentos de sedimentos, influenciando diretamente nos erros resultantes das vazões calculadas.

REFERÊNCIAS

Almeida, C. N., Andrade Filho, L. S. and Melo, D. C. D. (2009). **MolinX: Uma planilha para determinação de vazões em pequenos riachos**. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, Brazil.

Barreto, C. E. A. G. (2006). **Balanço Hídrico em Zona de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de Monitoramento Hidrogeológico em Bacia Representativa**. Dissertação de Mestrado. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo.

Chaudhry, M. H (2008). **Open-Channel Flow**. 2nd Edition, Springer, New York.

Chow, V. T., Maidment, D. and L. Mays (1988). **Applied Hydrology**. McGraw-Hill, New York.

Clarke, R. T. (1999). **Uncertainty in the estimation of mean annual flood due to rating-curve indefiniton**. Journal of Hydrology, vol. 222, pp. 185 – 190.

Clarke, R.T. and L.C. Brusa (1999). **Erros na Estimativa da Vazão Máxima Utilizando Curva-Chave. Caso de Estudo: Bacia do Rio Ibicuí, RS.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, vol. 4, nº 3, July/Setember 1999, pp. 91-95.

Dymond, J. R. and R. Christian (1982). **Accuracy of discharge determined from a rating curve.** Hydrological Sciences Journal, vol.4, pp. 493 – 504.

Handerson, F. M. (1966). **Open Channel Flow**, Macmillan Publishing Co., New York.

Overleir, A. P., and T. Reitan (2009). **Accounting for rating curve imprecision in flood frequency analysis using likelihood-based methods.** Journal of Hydrology, vol. 366, pp. 89-100.

Köpen, W. (1948). **Climatología: con un studio de los climas de la tierra.** Fondo de Cultura Econômica, p. 478, México.

Leonard, J., Mietton, M., Najib, H. and P. Gourbesville (2000). **Rating curve modeling with Manning's equation to manage instability and improve extrapolation.** Hydrological Sciences Journal, vol. 45(5), pp. 739-750.

Porto, R. M. (2006). **Hidráulica Básica.** 4ª ed. EESC–USP, São Carlos.

Sadeghi, S. H. R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S. and Y. Onda (2008). **Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for Japanese small mountainous reforested watershed.** Journal of Hydrology, vol. 356, pp. 271 – 282.

Sahoo, G. B. and C. Ray (2006). **Flow forecasting for a Hawaii stream using rating curves and neural networks.** Journal of Hydrology, vol. 317, pp. 63-80.

SEMARH (2000). **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Gramame.** vol.1.