

CURVA-CHAVE OBTIDA POR SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA

Franciele Maria Vanelli, Leonardo Romero Monteiro e Fernando Mainardi Fan

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS/IPH, Brasil.

E-mail: franciele.vanelli@ufrgs.br; leonardoromeromonteiro@gmail.com; fernando.fan@ufrgs.br

Introdução

A medição de vazão é um procedimento de elevado custo e durante eventos de cheia pode ser difícil e perigosa (Corato et al., 2014). Assim, uma alternativa para estimar a vazão consiste em estabelecer uma relação denominada curva cota-vazão ou curva-chave, por meio de um determinado intervalo de dados observados de nível de água (cota) e de vazão (descarga líquida). Em geral, essa relação é representada na forma potencial e realizada a extrapolação para níveis de água inferiores e superiores ao intervalo observado (Mosley e McKerchar, 1992).

No Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Águas – ANA (2014), a leitura da régua ocorre duas vezes ao dia, e em muitas ocasiões o valor máximo ou mínimo de vazão pode ocorrer entre os intervalos de leituras, perdendo-se a possibilidade de registro dessa informação e incrementado a incerteza existente em decorrência dos erros grosseiros e sistemáticos.

Deve-se ainda mencionar que a curva-chave é um método simplificado, pois considera o escoamento em regime permanente (ANA, 2014; Oliveira et al., 2016). Na ocorrência de níveis de água altos que resultam no extravasamento do leito menor do corpo hídrico, a extrapolação da curva-chave pode não ser mais representativa, pois a alteração da seção fluvial gera mudança na curva de tendência (Oliveira et al., 2016).

Com base no exposto, denotam-se as incertezas na estimativa das vazões tanto em virtude dos dados como pelas simplificações da curva-chave. Para tal, o presente estudo propõe reconstituir a relação nível de água e vazão por meio de simulação numérica, discretização unidimensional e regime permanente, empregando como dados de entrada apenas informações de uma estação fluviométrica (seção transversal, cota e descarga líquida) possibilitando estimar os níveis de água e vazões máximas.

Área de estudo

O Rio Tubarão está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão, no sul do Estado de Santa Catarina, Brasil. Esse rio, cuja extensão é de 120 km e área de drenagem de aproximadamente 5.000 km², nasce nas encostas da Serra Geral e deságua na Lagoa Santo Antônio. Sua proximidade com o Oceano Atlântico, pode resultar na influência dos fenômenos costeiros no comportamento hidráulico do rio.

Materiais e métodos

Para o presente estudo, foi realizado o levantamento das estações fluviométricas instaladas ao longo do Rio Tubarão disponibilizadas no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), portal Hidroweb da ANA. A escolha da estação fluviométrica considerou a quantidade de dados da série histórica e ausência de efeito de remanso.

A estação fluviométrica, código 84580000, denominada Rio Do Pouso, se localiza nas coordenadas X 685122 e Y 6854817 (UTM) e apresenta uma área de drenagem de 2.740 km². Os dados consistidos pelo SNIRH/ANA referentes a valores de nível de água e vazão medidos em campo contemplam o período de 1939 a 2006. Quanto a seção transversal, existe um

perfil por ano, sendo que apenas os anos de 2004 e 2006 são consistidos. Além disso, foi analisado o histórico da estação fornecido pelo órgão responsável, no entanto as observações existentes se referem apenas de 2006 até 2017.

Foi elaborada a relação entre os dados observados de nível de água e vazão possibilitando identificar três comportamentos distintos ao longo do período da série histórica apesar de apresentarem tendência similar. A Figura 1 ilustra o comportamento observado e apresenta a segmentação conforme o período: (i) 25/05/1939 a 07/03/1974; (ii) 14/05/1974 a 17/10/1995; e (iii) 29/02/1996 a 26/10/2006. A mudança de tendência que ocorre no ano de 1974 entre os meses de março e maio, pode ser justificada em ocorrência de um evento extremo de inundação associado a *debris flow* (Bigarella, Bigarella e Jost, 1975) ocorrido entre 23 a 25 de março que ocasionou danos significativos à população local. Tal evento, em virtude de suas proporções, pode ter danificado equipamentos de medição e/ou alterado o canal.

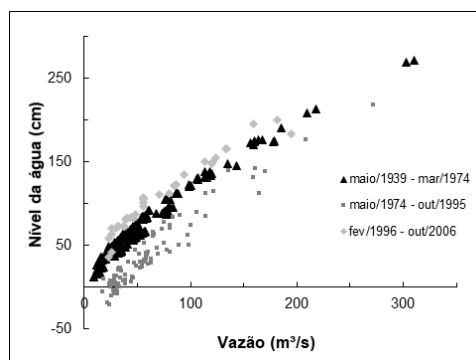


Figura 1.- Relação entre dados observados: nível de água e vazão de 1939 a 2006.

Para desenvolvimento do presente estudo se empregou o modelo hidrodinâmico HEC-RAS versão 5.0.3 (USACE-HEC, 2016), com discretização unidimensional e em regime permanente. Adotaram-se essas simplificações visto que a análise está sendo realizada com dados hidrológicos coletados mensalmente em um único posto de monitoramento. No modelo, foi inserida a seção transversal do ano de 2006 (Figura 2) e replicada 1 m a jusante realizando interpolação entre elas de 0,1 m levando em consideração a declividade de fundo do canal de 0,001 m/m. Como condição de contorno foram inseridos os dados de vazões observadas do período de 1996 a 2006 e a declividade de fundo de 0,001 m/m obtida com base em dados de batimetria.

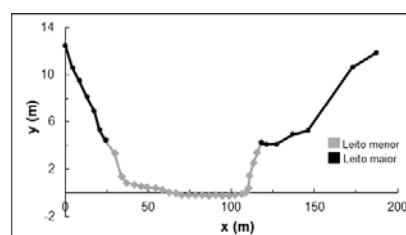


Figura 2.- Seção transversal do ano de 2006 com distinção entre o leito menor (em cinza) e maior (em preto).

Calibração

A calibração do modelo hidrodinâmico foi realizada manualmente em um processo iterativo onde o valor do coeficiente de Manning do canal foi alterado até o nível de água calculado se aproximar do valor observado. Esse modelo possibilita o uso de valores do coeficiente de Manning diferentes para o canal e para as margens do rio. Nessa calibração se adotou um valor constante para ambas as margens correspondente a 0,05 de modo a variar apenas o coeficiente de Manning referente ao leito menor.

O processo iterativo para ajuste do modelo hidrodinâmico iniciou considerando um coeficiente de Manning para o leito menor igual a 0,035 sendo acrescido 0,001 a cada iteração. A iteração foi realizada até coeficiente de Manning igual a 0,038 sendo analisados os ajustes por meio da função objetivo do erro percentual absoluto médio dado por:

$$E = \frac{\sum \left(\frac{H_o - H_c}{H_o} \right)}{n} \times 100 \quad [1]$$

onde H_o é o nível de água observado, H_c é o nível de água calculado e n é o número de dados. O coeficiente de Manning 0,037 apresentou o menor erro (Tabela 1) sendo empregado nas demais etapas do presente estudo.

Tabela 1.- Erro percentual absoluto médio dos coeficientes de Manning calculados em relação aos observados.

Coefficiente de Manning	Erro percentual absoluto médio [%]
0,035	7,39
0,036	7,13
0,037	7,03
0,038	7,28

Resultados

Para estimar a relação nível de água e vazão para a seção transversal em estudo, estabelecendo uma curva-chave obtida pela simulação hidrodinâmica, aplicou-se o modelo calibrado para o intervalo de vazões entre 50 e 2.000 m^3s^{-1} com variação de 1 m^3/s . Essa relação foi comparada com os valores máximos mensais do período entre 1996 e 2004 cuja relação se baseia na curva-chave da ANA e com os limites inferior e superior associados aos erros de 5% e 10% dos valores calculados. Ao analisar as vazões estimadas pela curva-chave da ANA, assume-se que a extrapolação da curva-chave foi realizada pelo método de Stevens (Campos et al., 2017). Analisando o valor máximo observado de nível de água e a estimativa de vazão resultante da curva-chave extrapolada da ANA e a estimativa proveniente da simulação numérica, Figura 3, nota-se que a vazão calculada é inferior a indicada pela extrapolação da ANA, demonstrando que apesar das incertezas associadas aos eventos extremos de máxima, para essa estação fluviométrica a diferença entre as estimativas é de aproximadamente 5%.

Ainda na mesma figura, observa-se que as vazões estimadas pela curva-chave da ANA para os anos de 1996 e 1997 não se ajustam aos valores simulados. Excluindo esses dois anos da análise, nota-se que os demais dados, 80% estão bem ajustados com margem de erro de 10%. Alguns valores da curva-chave estão subestimados, mas esse comportamento está incoerente na própria observação, visto que pela extrapolação da curva-chave da ANA, por exemplo, 329 cm representa 796 m^3s^{-1} , enquanto um nível de água superior, 355 cm, está representando uma vazão inferior, 770 m^3s^{-1} .

Além disso, ao ocorrer o extravasamento do leito menor, cerca de 425 cm, houve alteração na tendência em virtude da mudança na área molhada. Nesse estudo, a alteração na

tendência é sutil devido a pequena alteração na área molhada. Tal ocorrência corrobora as vantagens da simulação numérica em relação ao método convencional na criação da relação nível de água e vazão pois considera o aspecto físico, e não apenas estatístico.

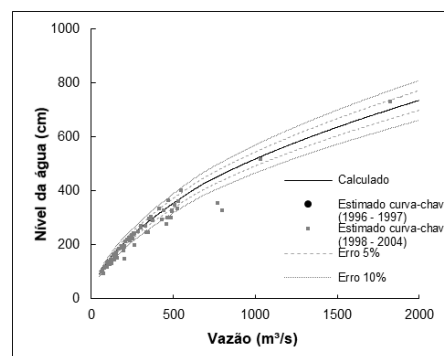


Figura 3.- Relação entre nível de água observado e vazão estimada pela curva-chave extrapolada da ANA considerando dois períodos: 1996 a 1997 e 1998 a 2004, relação nível de água calculado e margem de erro de 5% e 10% superior e inferior.

Conclusões

A curva-chave é um método simplificado que deve ser empregado com cautela. Para a seção transversal em análise foi realizada a relação entre os dados observados de nível de água e vazão para o período entre 1939 e 2006 possibilitando a identificação de três comportamentos distintos, evidenciando que não foi utilizada a mesma curva-chave para todo período.

Considerando as incoerências das vazões estimadas pela curva-chave desta estação fluviométrica, o presente estudo propôs a aplicação da simulação numérica para estabelecer a relação nível de água e vazão com base em dados hidrológicos disponibilizados pelo SNIRH/ANA. Constatou-se que aplicar o modelo hidrodinâmico calibrado é uma ferramenta útil para estimar vazões máximas e verificar a coerência da extrapolação por métodos convencionais. Essa metodologia foi aplicada a outras estações fluviométricas desta mesma bacia hidrográfica objetivando sua efetivação.

Referências

- Agência Nacional de Águas – ANA (Brasil). (2014). *Medição de descarga líquida em grandes rios: manual técnico*. 2. ed. Brasília.
- Bigarella, J.J.; Bigarella, I.E.K.; Jost, H. (1975). "Catastrophic events in the Tubarão area". *Boletim Paranaense de Geociências*, No. 33, 1975, pp. 200-206.
- Campos, J.A.; Rolim, F.E.; Zanandrea, F.; Dornelles, F.; Goldenfum, J.A. (2017). "Avaliação de metodologias de extrapolação superior de curva-chave: estudo de caso no Rio Tubarão – SC". *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Florianópolis, SC, Brasil.
- Corato, G.; Ammari, A.; Moramarco, T. (2014). "Conventional point-velocity records and surface velocity observations for estimating high flow discharge". *Entropy*. Vol. 16, No. 10, Out 2014, pp. 5546 – 5559.
- Mosley, M. P.; McKerchar, A. I. (1992). *Streamflow: Chap. 8. Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill Inc: New York.
- Oliveira, F.A.; Pereira, T.S.R.; Soares, A.K.; Formiga, K.T.M. (2016). "Uso de modelo hidrodinâmico para determinação da vazão a partir de medições de nível". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 21, No. 4, Out/Dez 2016, pp. 707 – 718.
- USACE-HEC. (2016). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual*, Version 5.0. Brummer, G. W.: U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.