XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

CURVAS-CHAVE E INCERTEZA NAS ESTIMATIVAS DE VAZÕES EXTREMAS DURANTE AS CHEIAS DE 2023 E 2024 NO RIO GRANDE DO SUL

Stefany G. Lima [1] ; Rodrigo C. D. Paiva [2]; Fernando M. Fan [3]; Walter Collischonn [4]; Matheus S. Medeiros [5]; Rafaela C. Oliveira [6]; Pedro Camargo [7]; Ana P. Fioreze [8]; Saulo A. Souza [9] & Alexandre A. Araújo [10]

Abstract: This study evaluated the uncertainties in extreme flow estimates obtained from rating curves during the 2023 and 2024 flood events in the Guaíba watershed, in Rio Grande do Sul. To do this, gauge stations located in the main rivers of the basin were used. The rating curve is the primary tool for converting water levels into corresponding flow rates. However, its extrapolation for extreme events beyond the limits measured in the field can be a significant source of uncertainty. The results demonstrated that during the historic flood of May 2024, the maximum flow rates at all analyzed stations were within the extrapolation zone of the rating curves. These estimated flows were between 1.4 and 2.3 times higher than the maximum flows previously observed in field measurements. The recorded water levels also exceeded the measurement range by values varying from 1.1 to 8.9 meters. In 2023, the floods in the Taquari and Caí rivers also surpassed the limits of observation. Furthermore, a change in the stage-discharge relationship was identified over the years, with the 2023-2024 curve showing a better fit to recent measurements. Thus, it was concluded that there may be uncertainty in the extrapolation process, highlighting the need to evaluate the methods for a more precise use of rating curves in estimating extreme flows during flood events.

Resumo: Este trabalho avaliou as incertezas nas estimativas de vazões extremas, obtidas a partir de curvas-chave, durante os eventos de cheia de 2023 e 2024 na bacia hidrográfica do Guaíba, no Rio Grande do Sul. Para isso, foram utilizadas estações fluviométricas localizadas nos principais rios da bacia. A curva-chave é a principal ferramenta para converter níveis em valores de vazão correspondente, mas a sua extrapolação para eventos extremos, além dos limites medidos em campo, pode ser uma fonte de incerteza. Os resultados demonstraram que, durante a cheia histórica de maio de 2024, as vazões máximas em todas as estações analisadas situaram-se na zona de extrapolação das curvas-chave. Essas vazões estimadas foram entre 1,4 e 2,3 vezes superiores às vazões máximas já observadas em medições de campo. As cotas registradas também ultrapassaram a faixa de medição em valores que variaram de 1,1 a 8,9 metros. Em 2023, as cheias nos rios Taquari e Caí também superaram os limites de observação. Além disso, foi identificada uma alteração na relação cota-vazão ao longo dos anos, com a curva do período 2023-2024 sendo mais aderente às medições recentes.

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), stefglima@gmail.com
2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), rodrigo.paiva@ufrgs.br
3) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), fernando.fan@ufrgs.br
4) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), collischonn@iph.ufrgs.br
5) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), matheus.sampaio@ufrgs.br
6) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), rafaela.cristina@ufrgs.br
7) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), pedroluisbernardidecamargo@gmail.com
8) Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), ana.fioreze@ana.gov.br
9) Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), saulo.souza@ana.gov.br
10) Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), alexandre.araujo@ana.gov.br

Dessa forma, concluiu-se que pode haver uma incerteza no processo de extrapolação, evidenciando a necessidade de avaliação dos métodos para uma utilização mais precisa e acurada das curvas-chave na estimativa de vazões extremas em eventos de inundações.

Palavras-Chave – Curvas-chave; Incertezas; Vazões extremas.

INTRODUÇÃO

As inundações representam um dos maiores riscos naturais, com alto poder de destruição e impactos significativos na sociedade e na economia. Neste contexto, a avaliação precisa do risco de inundações é essencial para mitigar seus efeitos negativos.

Para tanto, é fundamental determinar as vazões máximas, cuja estimativa geralmente é realizada a partir de análises estatísticas de frequência sobre dados históricos. Entretanto, a medição direta da vazão em campo enfrenta limitações práticas, o que torna necessário o uso de modelos empíricos. Dentre estes, a curva-chave configura-se como a principal ferramenta para estimar a vazão de forma indireta (Chow et al., 1988; Tucci, 2007).

A medição direta de vazão é um procedimento de alto custo e demorado que, durante eventos de cheia, se torna também difícil e perigoso (Brusa & Clarke, 1999; Corato et al., 2014). Por essa razão, a vazão é geralmente estimada de forma indireta pela curva-chave (ou curva cota-vazão). Esta relação permite converter uma simples leitura de nível na régua linimétrica, obtida em uma seção fluvial, no valor de vazão correspondente.

Para comtemplar valores superiores aos medidos em campo, como ocorre nas cheias extremas, é realizada a extrapolação da relação cota-vazão, que em geral, é representeada na forma exponencial (Mosley e McKerchar, 1993). Contudo, essa extrapolação é reconhecida como uma fonte de incerteza nas estimativas de vazão. Apesar de ser um método largamente utilizado, diversos estudos apontam para a fragilidade desse processo, especialmente para eventos extremos, que são posicionados, principalmente, na zona de extrapolação (e.g. Clarke, 1999; Clarke et al., 2000; Westerberg et al., 2011; Di Baldassare & Claps, P., 2011; Domeneghetti et al., 2012; Vanelli et al., 2018 and Vieira et al., 2022).

A fim de compreender as incertezas das curvas-chave, principalmente na zona de extrapolação, na estimativa de vazões máximas durante os eventos de cheia de 2023 e 2024 no Rio Grande do Sul, foram avaliados dados de medições de vazões e curvas-chave em algumas das estações fluviométricas nos principais rios da bacia hidrográfica do Guaíba.

METODOLOGIA

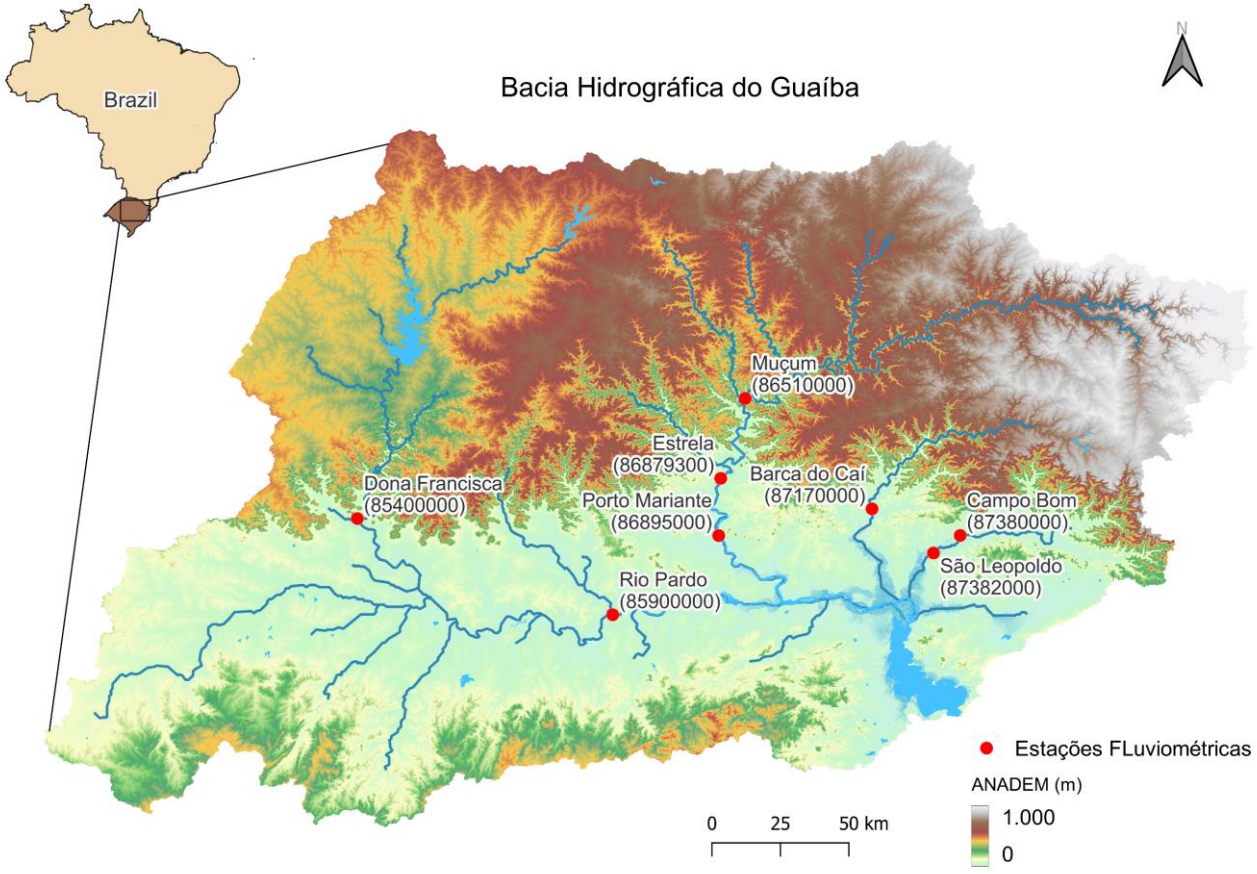
Neste trabalho, foram avaliados dados de medições de vazão e as respectivas curvas-chave de 8 (oito) estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Guaíba. As estações, cujos dados foram obtidos no portal Hidroweb (ANA) estão disponíveis na Tabela 1, assim como a localização dessas estações na bacia está disposta na Figura 1.

A análise envolveu a comparação entre as máximas cotas e vazões registradas nas séries de dados para cheias ocorridas em setembro, novembro de 2023 e maio de 2024, além das marcas de cheia, especificamente levantadas para as estações de Muçum e Estrela pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB, 2024) e medições do resumo de descarga e curvas-chave vigentes de cada estação, que foram obtidas no portal Hidroweb, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas).

Tabela 1- Estações fluviométricas utilizadas.

Código	Nome da Estação	Latitude	Longitude	Rio	Período de medições (Resumo de descarga)
86510000	Muçum	-29,17	-51,87	Taquari	1940-2024
86879300	Estrela	-29,47	-51,96	Taquari	2016-2024
86895000	Porto Mariante	-29,69	-51,97	Taquari	1978-2008
87170000	Barca do Caí	-29,59	-51,38	Caí	1978-2024
87380000	Campo Bom	-29,69	-51,05	Sinos	1940-2024
87382000	São Leopoldo	-29,76	-51,15	Sinos	1973-2024
85400000	Dona Francisca	-29,63	-51,35	Jacuí	1941-2024
85900000	Rio Pardo	-29,99	-52,37	Jacuí	1940-2024

Figura 1 – Localização das estações fluviométricas utilizadas.



RESULTADOS

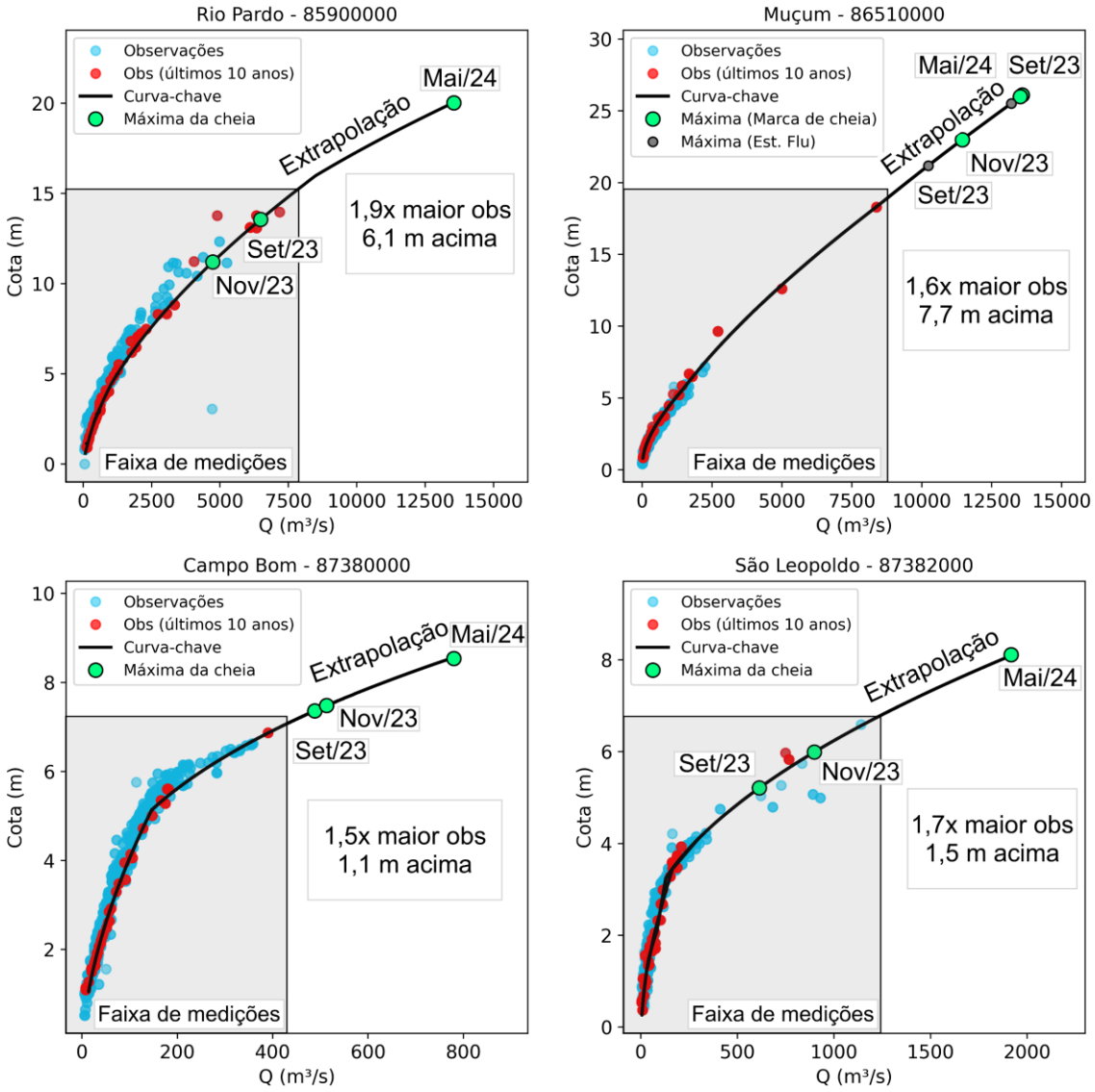
De modo geral, verificou-se na Figura 2 que as vazões máximas registradas nas séries, durante a cheia de maio de 2024 em todas as estações, situam-se na área de extrapolação das curvas-chaves. Essas vazões apresentam-se de 1,5 a 2,3 vezes acima das vazões máximas observadas em campo (resumo de descarga), indicando potenciais incertezas associadas às vazões extremas. As diferenças entre as cotas registradas nas séries e as máximas cotas da faixa de medições variaram de 1,1 a 8,9 m.

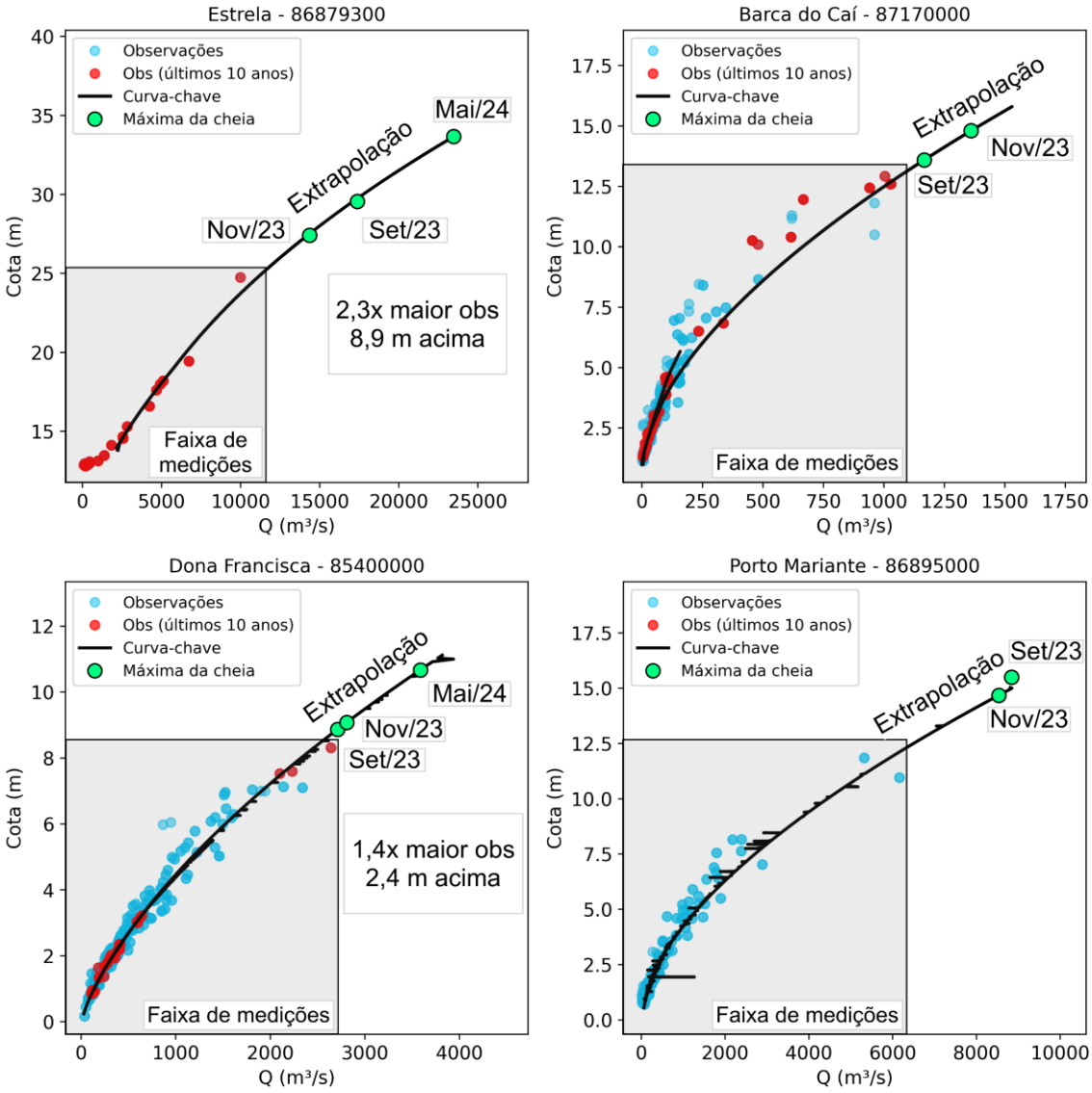
Em 2023, as cheias do rio Taquari e Caí ultrapassaram os limites da faixa de observações. Na estação de Muçum, a diferença entre a cota registrada na série de dados e a marca da cheia medida pelo SGB foi de 4,93 m.

É possível identificar um efeito de quebra na curva-chave do rio dos Sinos, nas estações São Leopoldo e Campo Bom, possivelmente devido a efeitos de armazenamento na planície de inundação.

Também é possível verificar uma alteração na relação cota vazão ao longo dos anos, sendo que a curva-chave, correspondente ao período de 2023-2024, é aderente às medições de campo mais recentes.

Figura 2 - Curvas-chave e incertezas nas estimativas de vazões máximas durante as cheias de 2023 e 2024 no Rio Grande do Sul.





CONCLUSÕES

As análises permitiram identificar que as vazões máximas registradas durante a cheia de maio de 2024, em todas as estações fluviométricas utilizadas situaram-se na zona de extrapolação das curvas-chave. As cheias de 2023 nos rios Taquari e Caí também ultrapassaram os limites da observação. Essas vazões extrapoladas foram de 1,4 a 2,3 vezes superiores às vazões máximas previamente medidas em campo. As diferenças entre as cotas máximas registradas e os limites superiores de medição variaram de 1,1 a 8,9 metros.

Apesar da curva-chave ser um método simplificado e amplamente utilizado, é preciso ter cuidado na sua aplicação, uma vez que os resultados gerados podem conter incertezas, principalmente quando usados na estimativa de vazões máximas provenientes da extrapolação da curva-chave.

AGRADECIMENTOS

A equipe do IPH agradece o apoio técnico e financeiro da ANA através do NOTA TÉCNICA Nº 18/2024/COHID/SHE, registrado na UFRGS através do IAP-002928, SEI 23078.537199/2024-12, que permitiu a realização do projeto que originou o relatório intitulado "*Caracterização e modelagem das cheias de 2024 no RS em escala regional*". Além disso agradece a UFRGS, ao IPH e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela infraestrutura e apoio disponibilizados.

REFERÊNCIAS

BRUSA, L. C., & CLARKE, R. T. (1999). "*Erros envolvidos na estimativa da vazão máxima utilizando curva-chave: caso de estudo: bacia do rio Ibicui, RS*". RBRH. Porto Alegre, RS. Vol. 4, n. 3 (jul./set. 1999), p. 91-95.

CORATO, G., AMMARI, A., & MORAMARCO, T. (2014). "*Conventional point-velocity records and surface velocity observations for estimating high flow discharge*". Entropy, 16(10), 5546-5559.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. *Applied hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1988.

CLARKE, R. T. (1999). "*Uncertainty in the estimation of mean annual flood due to rating-curve indefinition*". Journal of Hydrology, 222(1-4), 185-190.

CLARKE, R. T., MENDIONDO, E. M., & BRUSA, L. C. (2000). "*Uncertainties in mean discharges from two large South American rivers due to rating curve variability*". Hydrological Sciences Journal, 45(2), 221-236.

DI BALDASSARRE, G., & CLAPS, P. (2011). "*A hydraulic study on the applicability of flood rating curves*". Hydrology Research, 42(1), 10-19.

DOMENEGHETTI, A., CASTELLARIN, A., & BRATH, A. (2012). "*Assessing rating-curve uncertainty and its effects on hydraulic model calibration*". Hydrology and Earth System Sciences, 16(4), 1191-1202.

MOSLEY, M. P., & MCKERCHAR, A. I. (1993). *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill Inc: New York.

SGB – SISTEMA GEOLÓGICO DO BRASIL. (2024). Aferição direta e avaliação indireta do nível máximo dos rios em estações fluviométricas e marcas de inundação no Rio Grande do Sul na grande cheia de maio de 2024. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/24939.10/6/2024-11-04_nota_tecnica_levantamento_cheia_2024_v.8.pdf

VANELLI, F. M., MONTEIRO, L. R., & FAN, F. M. (2018). "*Curva-chave obtida por simulação hidrodinâmica*". In Congreso Latinoamericano de Hidráulica (28.: 2018: Buenos Aires). Trabajos completos. Ezeida: Instituto Nacional del Agua, 2018.

VIEIRA, L. M. D. S., SAMPAIO, J. C. L., COSTA, V. A. F., & ELEUTÉRIO, J. C. (2022). "*Assessing the effects of rating curve uncertainty in flood frequency analysis*". RBRH, 27, e11.

WESTERBERG, I., GUERRERO, J. L., SEIBERT, J., BEVEN, K. J., & HALLDIN, S. (2011). "*Stage-discharge uncertainty derived with a non-stationary rating curve in the Choluteca River, Honduras*". Hydrological Processes, 25(4), 603-613.

TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2007.