

## ANÁLISE DAS ESTIMATIVAS DE VAZÕES EM CANAL NATURAL DE FLUXO COMPLEXO – ESTUDO DE CASO DO CANAL SÃO GONÇALO

GEORGE MARINO SOARES GONÇALVES<sup>1</sup>; GUILHERME KRUGUER  
BARTELS<sup>2</sup>; GILBERTO LOGUERCIO COLLARES<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [george.marino.goncalves@gmail.com](mailto:george.marino.goncalves@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [guilhermebartels@gmail.com](mailto:guilhermebartels@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [gilbertocollares@gmail.com](mailto:gilbertocollares@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

A quantificação de variáveis hidrológicas como a descarga líquida, também conhecida como vazão d'água, é de extrema importância em rios e canais, tanto naturais quanto artificiais, e o monitoramento de forma contínua dessa variável é normalmente realizado de duas maneiras: (i) através de uma curva-chave, forma mais comum e tradicional de obter séries contínuas de vazões; (ii) ou então, através do método de velocidades indexada (MVI). Como característica, o MVI necessita de medidores acústicos, conhecidos como Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP<sup>1</sup>), os quais são equipamentos capazes de medir a velocidade da água, área da seção e nível através da emissão e recepção de pulsos acústicos na água.

Nesse contexto o Canal São Gonçalo, atua como única ligação natural entre as águas que convergem da Lagoa Mirim em direção a Laguna dos Patos (GONÇALVES et al., 2021b), formando juntos o maior sistema lagunar da América Latina (OLIVEIRA et al., 2015). Este sistema possui características de fluxo complexo sendo profundamente influenciado pela ação do vento (COSTI et al., 2018), forçante que pode causar inversão da direção do fluxo no canal.

Desta forma, este trabalho objetiva identificar os avanços em estudos que abordam a aplicação dos métodos da curva-chave e velocidades indexadas no monitoramento contínuo da vazões no canal São Gonçalo.

### 2. METODOLOGIA

#### Local de estudo

O Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Hidrometria e Sedimentos para o Manejo de Bacias Hidrográficas (NEPE-HidroSedi<sup>2</sup>), monitora o canal São Gonçalo a partir de duas seções<sup>3</sup>, distantes 70 km entre si (Figura 1). Ambas contam com um ADCP estático, modelo *Argonaut SL-500*, que realiza o monitoramento das variáveis *Velocidade no Eixo x* (paralelo ao fluxo), *Velocidade no Eixo y* (perpendicular ao fluxo), *nível* e *temperatura d'água*, de forma constante em intervalos de 15 minutos.

<sup>1</sup> Neste trabalho, ao referir a ADCP, subentende-se tratar de medidores acústico por efeito Dopple indistintos.

<sup>2</sup> Maiores detalhes sobre o grupo de pesquisas podem ser encontrados em: <http://hidrosedi.com>.

<sup>3</sup> Detalhes sobre as seções e ADCPs instalados encontram-se disponíveis na obra “Estimativa da Concentração de Sedimento em Suspensão no Canal São Gonçalo a partir de equipamentos acústicos”, GONÇALVES (p. 64, 2020).

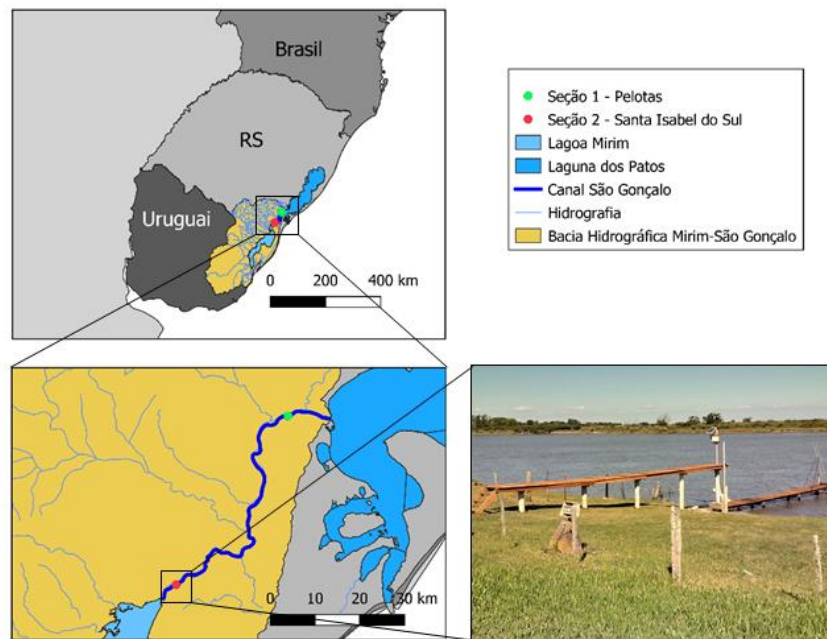


Figura 1 – Bacia Hidrográfica Mirim São-Gonçalo, identificadas as seções monitoradas, com destaque para a Seção 2 – Santa Isabel do Sul. Fonte: GONÇALVES et al., (2021a).

### Curva-chave

O método de curva-chave é a abordagem mais utilizada para estimativa de forma contínua da vazão em cursos d'água (CHENG et al., 2019), na qual o método se baseia na análise gráfica e hidráulica (WMO, 2010), sendo construída uma relação entre vazão e nível (Figura 2B). Entretanto, de acordo com LE COZ, PIERREFEU E PAQUIER (2008), o desempenho de curvas-chave são subjetivas a um limitado número de observações, bem como, pode ser impossível a determinação da vazão em situações de inversão da direção de fluxo.

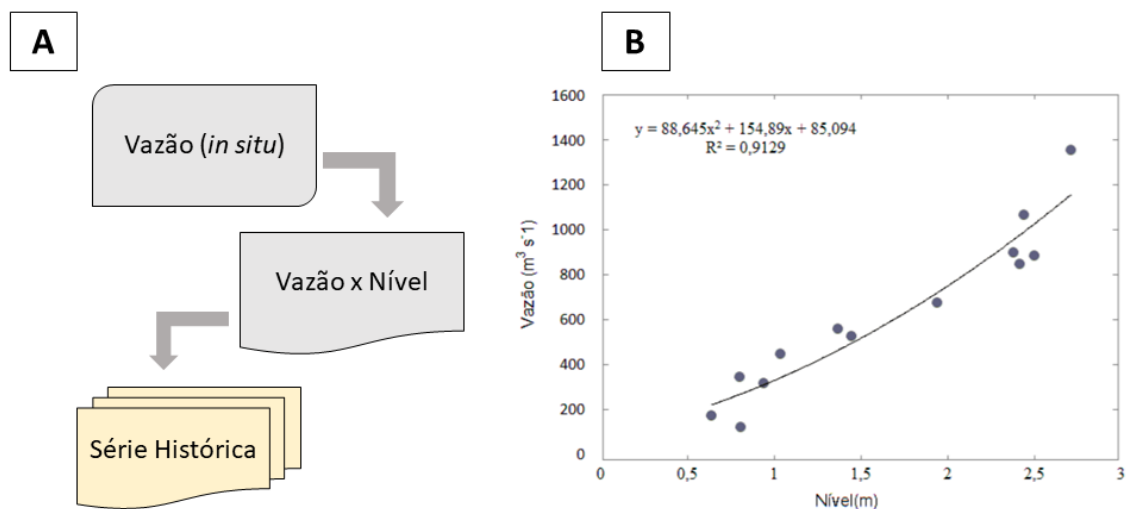


Figura 2 – A) Fluxograma com etapas de construção de uma curva-chave, B) Curva-chave proposta para Santa Isabel do Sul por OLIVEIRA et al. (2015). Fonte: Adaptado de OLIVEIRA et al. (2015).

### Velocidades indexadas

Por sua vez, o MVI relaciona a velocidade média ( $V_{méd}$ ) da seção de interesse com a velocidade em um ponto específico ( $V_{index}$ ) desta seção, bem como, utiliza de um relação entre área e nível d'água na seção, sendo a vazão resultante do produto dessas relações (CHEN et al., 2012), utilizando-se a equação da continuidade ( $Q = V \cdot A$ ) (Figura 3A). Entretanto a  $V_{index}$  utilizada pode ser a velocidade integrada no eixo x, ou a velocidade no eixo x de uma ou mais células em específico (Figura 3B) medidas pelo ADCP.

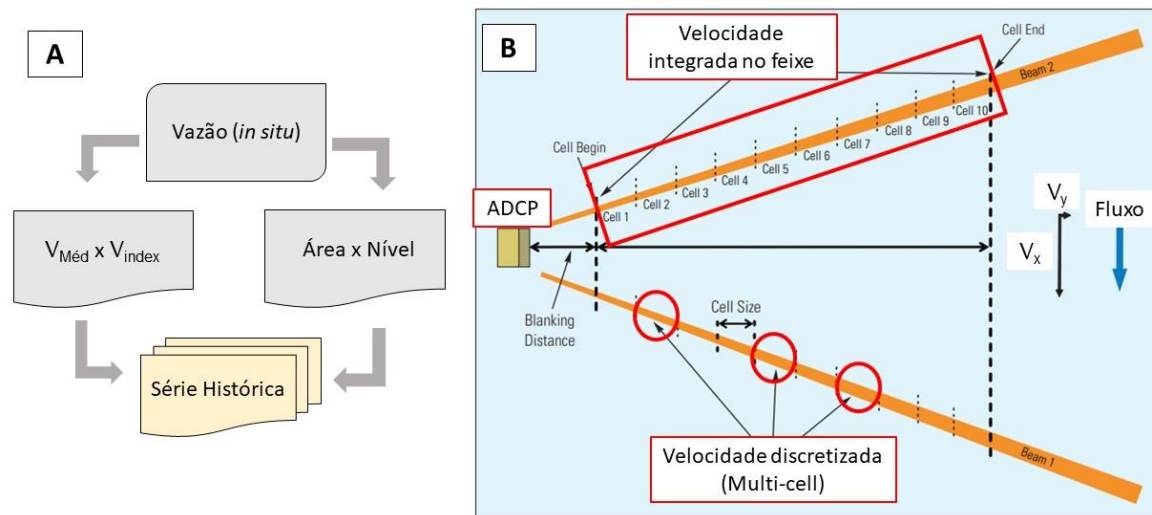


Figura 3 – A) Fluxograma com etapas do MVI, B) Velocidade Integrada no Feixe, e a Velocidade Discretizada (Multi-cell).

Fonte: Modificado de LEVESQUE e OBERG, 2012.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao aplicar o método da Curva-chave no distrito de Santa Isabel do Sul (Seção 2), OLIVEIRA et al. (2015) obtiveram  $R^2 = 0,913$  ao relacionar vazão e cota, considerando o intervalo entre 100 e 1.400  $m^3 \cdot s^{-1}$  de vazão positiva (sentido Mirim-Patos). LIMA (2016) após aplicar o MVI na Seção 1, com intervalo de vazões positivas entre 277,2 e 1.843,4  $m^3 \cdot s^{-1}$ , obteve  $R^2 = 0,979$  ao relacionar a  $V_{méd}$  e  $V_{index}$ . NOSCHANG (2018) ao aplicar o MVI na Seção 2, com intervalo de vazões entre -265,965 e 401,874  $m^3 \cdot s^{-1}$ , obteve  $R^2 = 0,985$  relacionando a  $V_{méd}$  com a  $V_{index}$ .

A partir dos resultados supracitados, evidencia-se desempenho inferior por parte da Curva-chave frente ao MVI, assim como, a construção do MVI, nos casos avaliados, leva em consideração um maior intervalo de medidas de vazão (com medições em condição de fluxo inverso), sendo assim, mais representativo e abrangente.

Vale também ressaltar que LIMA (2016) e NOSCHANG (2018), ao aplicar o MVI consideraram  $V_{index}$  como sendo a *Velocidade Integrada no Feixe*. Isso acaba por generalizar o comportamento da  $V_{index}$  em uma faixa grande da seção (120 metros para a Seção 1 e 100 metros para a Seção 2). Os resultados encontrados pelos autores que utilizaram o MVI, poderia mudar para melhor ou pior, caso explorassem a utilização da  $V_{index}$  como sendo a velocidade no eixo x de uma ou mais células (cada célula possui 10 metros) em específico (sistema *Multi-cell*).

## 4. CONCLUSÕES

O MVI se demonstra como o mais indicado para o monitoramento contínuo da vazão no canal São Gonçalo, considerando a complexidade do fluxo deste canal. Os estudos até então conduzidos aplicando o MVI, levaram em consideração grande amplitude de vazões, fluxos negativos e fluxos bidirecionais. Entretanto, estes estudos carecem de avanços a fim de investigar a utilização do sistema *Multi-cell* na medida da velocidade no eixo x.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chen, Y. C.; Yang, T. M.; Hsu, N. S.; Kuo, T. M. Real-time discharge measurement in tidal streams by an index velocity. **Environmental monitoring and assessment**, v. 184(10), p. 6423-6436, 2012.

Cheng, Z.; Lee, K.; Kim, D.; Muste, M.; Vidmar, P.; Hulme, J. Experimental evidence on the performance of rating curves for continuous discharge estimation in complex flow situations. **Journal of Hydrology**, v. (568), p. 959-971. 2019.

LE COZ, J.; PIERREFEU, G.; PAQUIER, A. Evaluation of river discharges monitored by a fixed side-looking Doppler profiler. **Water Resources Research**, v. (44), n. 4, 2008.

LEVESQUE, V. A.; OBERG, K. A. Computing discharge using the index velocity method: **U.S. Geological Survey Techniques and Methods** (3-A23). p. 148. 2012.

GONÇALVES, G. M. S. **Estimativa da Concentração de Sedimento em Suspensão no Canal São Gonçalo a partir de equipamentos acústicos**. 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas. 2020.

GONÇALVES, G. M. S.; BARTELS, G. K.; SILVA, G. H.; COLLARES, G. L. APLICAÇÃO DE ADCP-H PARA ESTIMATIVA DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO – ESTUDO DE CASO NO CANAL SÃO GONÇALO. In: **XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2021a.

GONÇALVES, G. M. S.; SANTOS, G. B.; BOEIRA, L. S.; TABARELLI, C. H. G.; MILANI, I. C. B.; SUZUKI, L. E. A. S.; COLLARES, G. L. Granulometria do sedimento de fundo do canal São Gonçalo na região do Porto de Pelotas. **Revista Ambientale**, 13(2), 60-72, 2021b.

LIMA, L. S. **ESTIMATIVA DE VAZÕES PARA O CANAL SÃO GONÇALO, DO SISTEMA LAGUNAR PATOS-MIRIM -RS, ATRAVÉS DO MÉTODO DAS VELOCIDADES INDEXADAS**. 2016, 63p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Hídrica), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

NOSCHANG, A. A. **ESTIMATIVA DE DESCARGA LÍQUIDA DO CANAL SÃO GONÇALO NA REGIÃO DE DESEMBOCADURA DA LAGOA MIRIM, EXTREMO SUL DO BRASIL, UTILIZANDO O MÉTODO DAS VELOCIDADES INDEXADAS**. 2018, 53p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Hídrica), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, 2018.

OLIVEIRA, H. A.; FERNANDES, E. H.L.; MÖLLER, O.O.; COLLARES, G. L. Processos hidrológicos e hidrodinâmicos da Lagoa Mirim. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, p. 34-45, 2015.

World Meteorological Organization (WMO). **Manual on Stream Gauging. Computation of discharge**, v. 2, 2010.