

LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO AUTOMATIZADO COM O USO DO INTERPOLADOR KRIGAGEM NO CANAL SÃO GONÇALO EM PELOTAS-RS

*George Marino Gonçalves¹; Gilberto Loguercio Collares²; Viviane Santos Silva Terra³; Reginaldo Galski Bonczynski⁴; Rafaela Gamino Tronco⁵**

Resumo – As hidrovias são um dos meios mais antigos de transporte, devido a sua simplicidade de utilização e o baixo custo, quando comparadas a outras modalidades. Porém, para garantir a navegação durante um período mínimo possível, considerando todas as possíveis variações hidrológicas, as hidrovias geralmente necessitam de intervenções constantes para manter as profundidades do canal principal. Assim, o presente estudo tem como objetivo gerar um mapa e o modelo de perfil batimétrico para o Canal São Gonçalo-RS. O trabalho foi realizado a partir de quatro campanhas batimétricas distintas, onde foram obtidos 25024 dados de profundidade georeferenciados para um trecho do Canal São Gonçalo, localizado na região do Porto de Pelotas, Rio Grande do Sul. Fazendo o uso da Krigagem Ordinária como interpolador geoestatístico, obteve-se um mapa de perfil batimétrico para um trecho do Canal de São Gonçalo, que representou com fidelidade as condições de profundidade do canal.

Palavras-Chave – Batimetria; Hidrometria; Navegação.

AUTOMATIZED BATHYMETRIC SURVEY USING KRIGING AS A INTERPOLATOR METHOD AT SÃO GONÇALO CHANNEL, PELOTAS – RS

Abstract – Waterways are one of the oldest means of transport, due to their simplicity of use and low cost, when compared to other modalities. However, in order to ensure navigation for a minimum possible period, considering all possible hydrological variations, waterways usually require constant interventions to maintain the depths of the main channel. Thus, the present study aims to generate a map and the bathymetric profile model for the São Gonçalo-RS Channel. The work was carried out from four distinct bathymetric surveys, where 25024 georeferenced depth data were obtained for a section of the São Gonçalo Channel, located in the Pelotas Port area, Rio Grande do Sul State. Using the Ordinary Kriging as a geostatistical interpolator, a bathymetric profile map was obtained for a section of the São Gonçalo Canal, which accurately represented the channel's depth conditions.

Keywords – Bathymetric; Hydrometry; Navigation.

INTRODUÇÃO

¹ Graduando em Engenharia Hídrica pela Universidade Federal de Pelotas - e-mail: george.marino.goncalves@gmail.com

² Professor Titular, CDTec- Engenharia Hídrica- UFPel, e-mail: gilbertocollares@gmail.com

³ Professor Assistente, CDTec- Engenharia Hídrica- UFPel, e-mail: vssterra10@gmail.com

⁴ Técnico em Hidrologia – Engenharia Hídrica - UFPel - e-mail: rbonczynski@gmail.com

⁵*Mestranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pelotas, e-mail: rafaelagtronco@gmail.com

Os recursos hídricos representam para a sociedade uma importante ferramenta, dotada de variadas e correntes finalidades, dentre elas destacam-se o abastecimento de água, geração de energia, irrigação, aquicultura, paisagismo e a navegação conforme citado por Moraes (2002). A utilização de vias navegáveis de interior são um dos meios mais antigos de transporte de mercadorias utilizado pelo homem, sendo as vantagens existentes nesse tipo de transporte, tal como a simplicidade em utilizar a corrente natural já existente no recurso hídrico, assim como o baixo índice de agressão ao meio ambiente que esse tipo de transporte gera, Rebouças (2006). As hidrovias, os canais artificiais e naturais, rios, lagos e lagoas podem ser enquadrados como vias navegáveis.

Dentre as vias navegáveis citadas anteriormente, as hidrovias possuem lugar de destaque, devido ao fato de manter um baixo custo energético para o transporte de cargas, quando comparado às malhas de transporte ferroviárias e rodoviárias. Para Biaggioni e Bovolenta (2010), a utilização de meios multimodais, o qual utilizam malhas hidroviárias, ferroviárias e rodoviárias de forma conjunta no transporte, podem gerar, por exemplo, uma economia de até 47% nos custos com transporte de soja quando comparado à utilização apenas da malha rodoviária para à mesma rota. Os mesmos autores, também salientam a necessidade de gastos constantes na manutenção e expansão da malha rodoviária comparada aos outros meios de transportes.

Entretanto, o potencial de operação nacional das hidrovias, canais e portos do Brasil, tem dependência direta com a manutenção e consolidação de uma rede navegável fluvial e marítima segura, requisitos necessários para atender à crescente demanda de escoamento e recebimento de cargas, devido ao aumento de produção e consumo de bens. Para atender às demandas, faz-se necessário em alguns casos, ações para a diminuição do assoreamento, além de ações de dragagens de áreas como canais de acesso, bacias de evolução e berços de atracação. Para a execução de ações de avaliação, manutenção e aprofundamento do calado (profundidade ao qual se encontra o ponto mais baixo da quilha de uma embarcação) de regiões portuárias, é imprescindível conhecer-se as condições batimétricas atuais do local.

Os levantamentos batimétricos são ferramentas importantes no auxílio da gestão dos recursos hídricos. Os meios e equipamentos para a obtenção dos dados batimétricos, são continuamente evoluídos e aprimorados, sendo atualmente utilizadas formas automatizadas, a qual geram informações mais fidedignas para posteriores modelagens.

A utilização de dados obtidos através de levantamentos batimétricos automatizados permite a estimativa de parâmetros físicos dos cursos d'água que são importantes no auxílio da modelagem e gestão dos recursos hídricos como, por exemplo, a estimativa do grau de assoreamento, o cálculo do volume de armazenagem, a atualização das curvas de capacidade, o modelo do relevo submerso, e a obtenção de informações úteis para a tomada de decisão no gerenciamento dos recursos hídricos realizado pelos órgãos públicos competentes Álvares *et al.* (2001).

O presente estudo tem como objetivo gerar um mapa e o modelo de perfil batimétrico para o Canal São Gonçalo-RS, através da utilização de equipamentos acústicos e de posicionamento global (GPS's), além de determinar a variabilidade através do interpolador krigagem com o intuito de obter um mapa batimétrico preciso do Canal.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O Canal São Gonçalo está localizado no estado do Rio Grande do Sul e abrange os municípios de pelotas, Rio Grande, Capão do Leão e Arroio Grande, e possui uma área de influência de aproximadamente 790,91 km² Simon e Silva (2015), Figura 1.



Figura 1 – Município de Pelotas no estado do Rio Grande do Sul.

O Canal São Gonçalo está inserido na Hidrovia Uruguai-Brasil, atuando como principal ligação entre a Laguna dos Patos e Lagoa Mirim, o canal apresenta larguras variando entre 200 e 300 m, e profundidade de até 10 m Burns (2010). Possui como principais tributários o Arroio Fragata, o Rio Piratini, o Canal Santa Bárbara e o Arroio Padre Teodósio, caracterizando-o como grande receptor de sedimentos.

A área escolhida para os levantamentos batimétricos compreende a região portuária de Pelotas-RS, na qual parte da Ponte Férrea do Canal São Gonçalo (Latitude: -31.788225° ; Longitude: -52.345225°) até o Campus Porto da Universidade Federal de Pelotas- UFPel (Latitude: -31.783310° ; Longitude: -52.323379°), Figura 2. A escolha da área de estuda, deu-se pela proximidade da área com o campus Porto UFPel, facilitando assim a logística para a execução das atividades de levantamento batimétrico. Outro motivo se deu devido ao fato da importância que o Porto de Pelotas representa para a região, sendo esse estudo, uma possível e futura ferramenta de gestão para a Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG), à qual administra o Porto de Pelotas, para ações de avaliação da sedimentação da área de estudo, à qual engloba toda a bacia de evolução (área utilizada para manobra e atracação de embarcações náuticas) do Porto de Pelotas.



Figura 2 – Localização da área de estudo, identificando o Porto de Pelotas-RS e a Universidade Federal de Pelotas-UFPeI.

Na geração das informações batimétricas, faz-se necessário o conhecimento da profundidade existente entre a superfície da lâmina d'água e o leito do curso d'água analisado, portanto, para obtenção de tal, a análise batimétrica foi determinada através de um Ecobatímetro SDE-28S, acoplado a um transdutor com frequência de 200 kHz, ambos da marca *South*.

Outra informação de grande valia em levantamentos batimétricos, é a informação de posicionamento geográfico do valor de profundidade observado, e para tal obtenção, utilizou-se um GPS (Global Position System) geodésico modelo ProMark 500 da marca *Ashtech*.

. Em uma embarcação náutica de pequeno porto, foram instalados a bombordo a sonda e o transdutor, além do GPS.

A sonda ecobatímetra foi previamente configurada para disparar pulsos sonoros através do transdutor de cerâmica, pulsos esses intervalados a cada 1 segundo, com o intuito de obter uma malha de pontos, mais densa possível. Acoplado a sonda ecobatímetra, fez-se uso do GPS geodésico citado anteriormente, o qual gerou um par informações de posicionamento global para cada valo profundidade obitido.

Por fim, os softwares instalados na sonda ecobatimétrica (PowerNav e EchoSounder), foram responsáveis por unir as informações de profundidade e posicionamento geográfico.

Foram realizadas 4 campanhas batimétricas, nas datas 15/12/2016, 12/01/2017, 21/03/2017 e 04/05/2017, assim como a identificação das profundidades máximas, mínimas e médias do nível d'água observados para cada um dos dias.

Para cada uma das 4 campanhas batimétricas foi registrada a cota inicial e final. Logo após foi realizado um cálculo para obtenção da cota média, para que fosse considerado a variação do nível d'água no mesmo intervalo. Essa informação, foi subtraída individualmente de cada valor de profundidade obtida para a referente campanha batimétrica, gerando um valor de profundidade referenciado a uma cota padrão, visto que para o presente estudo, foi o valor zero da régua linimétrica utilizada para aferir o nível do canal. Esta régua encontra-se instalada às margens do Porto de Pelotas-RS.

Após a obtenção dos pontos, valores de profundidade com seus respectivos valores de posição geográfica, foi utilizado o software ArcMap 10.2.2 para a interpolação dos dados através da ferramenta de análise geoestatística, no qual o interpolador utilizado foi a Krigagem Ordinária, desconsiderando a anisotropia, com um número mínimo de 5 vizinhos próximos para a estimação de valores, e a interpolação ocorreu nos 4 eixos radiais.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 constam os resultados obtidos para as profundidades máxima, mínima e média no canal São Gonçalo nos dias de campanha batimétrica.

Tabela 1 – Profundidades máximas, mínimas e médias encontradas para as quatro diferentes campanhas batimétricas.

Data	Profundidade em metros		
	Máxima	Mínima	Média
15/12/2016	11,23	0,66	6,034315
01/12/2017	10,70	0,16	5,834451
21/03/2017	11,17	0,61	4,740284
05/04/2017	9,61	0,39	5,533376

Os dados oriundos das campanhas geraram uma malha contendo 25024 pontos, os quais podem ser vistos na Figura 3, assim como sua distribuição na área de estudo



Figura 3 – Disposição dos 25024 pontos obtidos em 4 campanhas batimétricas na área de estudo.

A Figura 4 representa o mapa batimétrico da região de estudo gerado através do interpolador krigagem. Observa-se através do mapa uma variação na escala que vai de 3,27 m à -11,81 m. Nas regiões próximas a encosta, observa-se uma profundidade menor em relação ao centro do canal, isso justifica-se pela tendência de corpos d'água possuírem as maiores velocidades de escoamento concentradas no centro de sua calha, conseqüentemente gerando menor sedimentação de material, o que contribuí para a manutenção da profundidade do local.

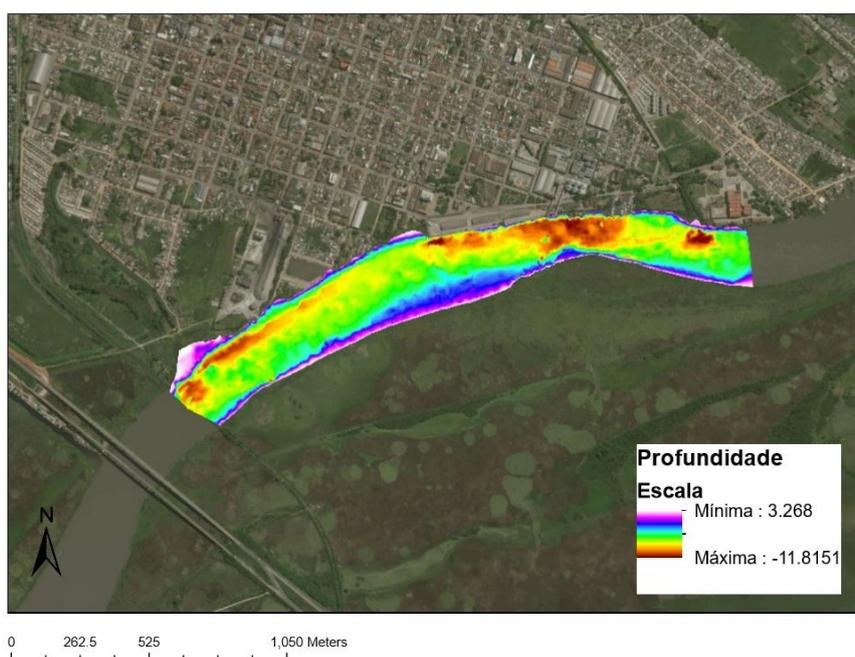


Figura 4 – Mapa batimétrico da área de estudo gerado utilizando o interpolador Krigagem.

. Observando-se o mapa batimétrico podemos identificar um talvegue, ou seja, a parte mais profunda do canal São Gonçalo no trecho estudado do canal. Porém nota-se algumas inconsistências no que se refere a profundidade mínima, na qual apresenta valores positivos, tendo mínima de 3,27 metros. Isso se justifica pela malha de pontos utilizada na aplicação do interpolador krigagem, a qual possui 25024 pontos observados, e posteriormente foram adicionados 507 pontos, sendo esses para delimitação do canal, o qual atribuiu-se cota zero a esses.

Na Figura 4, também podemos observar que as profundidades de 6,5 a 7,2 metros apresentam-se constantes na parte central da calha do canal, permitindo concluir que referenciado a cota zero do canal São Gonçalo, o mesmo possui uma zona navegável com profundidade média de 6,5 m de profundidade.

No ponto referente ao Campus Porto UFPel com profundidade média de 11 m, os valores obtidos podem ser atribuídos à existência da desembocadura do Canal do Pepino, afluente do canal, parte da drenagem urbana da cidade de Pelotas, responsável por grandes volumes de água drenados da porção centro e porto de Pelotas em direção ao São Gonçalo nos períodos de chuvas.

Observa-se também que o incremento de profundidade existente próximo ao cais do Porto de Pelotas, com ocorrência de valores de profundidade próximos a 10 metros na escala de valores, se deve as ações de dragagem realizadas no local para segurança na operação de embarcações no Porto de Pelotas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise permitiu confirmar a realidade existente quanto as profundidades do Canal São Gonçalo já conhecidas pelas cartas náuticas e levantamento batimétricos anteriores.

O uso do método de interpolação por krigagem se mostrou eficiente e possibilitou determinar a variabilidade do canal em termos de profundidade, considerando que esse método permite a geração de uma malha de dados contínua.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES, M.T; FERNANDES, S.; MARIANO, A.C; PIMENTA, M.T. (2000). Monitorização Batimétrica para Gestão de Albufeiras: Estudo piloto. In *Anais do IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA)*, Porto Seguro, Brasil, Abril de 2000.

BIAGGIONI, MARCO A.M; BOVOLenta, FÁBIO C. (2010). Comparative Energy Analysis for Soybean Journey Transport. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, pp. 587 – 599.

BURNS, M.D. de. (2010) *Consequências da Barragem Eclusa do Canal São Gonçalo para a Ictiofauna do Sistema Patos – Mirim*. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) – Fundação Universidade do Rio Grande. 152 f

MOORAES, D.S; JORDÃO, B.Q. (2002). Water resources deterioration and its impact on human health. *Revista Saúde Pública* 2002; 36(3); 370-4.



REBOUÇAS, A.C; BRAGA, B; TUNDISI, J.G. (2006). *Águas Doces no Brasil. Capital Ecológico, Uso e Conservação*. Escrituras, 732 p.

SIMON, L.H; SILVA, P.F. (2015). Análise Geomorfológica da Planície Lagunar sob Influência do Canal São Gonçalo – Rio Grande do Sul – Brasil. *Geociências* p.749-767.