



## MODELO TOPOBATIMÉTRICO DA DESEMBOCADURA DA LAGOA DOS PATOS E PLANÍCIE COSTEIRA ADJACENTE (BRASIL) OBTIDO ATRAVÉS DE DADOS DOS SENSORES ALOS-PRISM E LANDSAT 8-OLI

Deivid Cristian Leal Alves<sup>1</sup>, Jean Marcel de Almeida Espinoza<sup>2</sup>, Miguel da Guia Albuquerque<sup>3</sup>, Bento Almeida Gonzaga<sup>4</sup>, André Bilibio Westphalen<sup>5</sup> & Jair Weschenfelder<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43113, Sala 207 (Bloco I), Bairro Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre – Rio Grande do Sul, Brasil. E-mails: [dclealalves@gmail.com](mailto:dclealalves@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Rio Grande. Rua Engenheiro Alfredo Huch, 475, Bairro Centro, CEP 96201-460, Rio Grande – Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: [jean.espinoza@riogrande.ifrs.edu.br](mailto:jean.espinoza@riogrande.ifrs.edu.br)

<sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Rio Grande. Rua Engenheiro Alfredo Huch, 475, Bairro Centro, CEP 96201-460, Rio Grande – Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: [miguel.albuquerque@riogrande.ifrs.edu.br](mailto:miguel.albuquerque@riogrande.ifrs.edu.br)

<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Av. Itália, km 8, Carreiros, CEP 96203-900, – Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: [profbentoag@gmail.com](mailto:profbentoag@gmail.com)

<sup>5</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Rio Grande. Rua Engenheiro Alfredo Huch, 475, Bairro Centro, CEP 96201-460, Rio Grande – Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: [andre.westphalen@riogrande.ifrs.edu.br](mailto:andre.westphalen@riogrande.ifrs.edu.br)

<sup>6</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43113, Sala 207 (Bloco I), Bairro Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre – Rio Grande do Sul, Brasil. E-mails: [jair.weschenfelder@ufrgs.br](mailto:jair.weschenfelder@ufrgs.br);

### RESUMO

Dados topográficos e batimétricos são estratégicos para a gestão territorial, assim como na determinação de áreas para ocupação urbana e industrial, na exploração mineral e navegação, mapeamento de zonas de risco e de preservação ambiental, dentre outros. Informações detalhadas da altimetria terrestre são cruciais na composição de banco de dados geográficos, à medida que muitas agências nacionais investem em programas específicos para a obtenção, armazenamento digital e disponibilização virtual desse tipo de dado. O presente trabalho utilizou o Modelo Digital de Superfície (MDS) do sensor PRISM e inferências batimétricas com uso do sensor OLI, ajustados via *matching* de histograma, para a geração de um modelo

topobatimétrico de média resolução espacial. Isso permitiu a visualização tridimensional e identificação geomorfológica da desembocadura da Lagoa dos Patos (Rio Grande, Rio Grande do Sul – Brasil). O modelo topobatimétrico híbrido se apresenta como um versátil instrumento cartográfico e pode ser aplicado na análise geomorfológica da área de estudo. Como destaques da metodologia, indicamos: o livre acesso aos dados através dos repositórios da JAXA e USGS; a identificação de formas de fundo em águas rasas, desde que observada a resolução espacial do sensor OLI (30 m x 30 m); a possibilidade do acompanhamento morfodinâmico das feições submersas através de uma série temporal georreferenciada (2013-2019). Com relação as suas limitações: a acurácia vertical do MDS



PRISM de 5m; a modelagem de transferência radiativa para a inferência batimétrica através da banda *Coastal-Aerosol* requer, necessariamente, dados *in situ* adquiridos em datas próximas da aquisição da imagem satelital; a nebulosidade e/ou alta taxa de sedimentos em suspensão provavelmente inviabilizarão a visualização das formas de fundo, enquanto objetos menores sobre a água (como embarcações) podem incorrer em erros de identificação devido a sobreposição de alvos.

**Palavras-chave:** geomorfologia; zona costeira; formas de fundo; sensoriamento remoto.

## TOPOBATIMETRIC MODEL OF THE DUCKING LAGOON DEBUTCH AND ADJACENT COASTAL PLANET (BRAZIL) OBTAINED BY DATA FROM THE ALOS-PRISM AND LANDSAT 8-OLI SENSORS

### ABSTRACT

Topographic and bathymetric data are strategic for territorial management, as well for determining areas for urban and industrial occupation, mineral exploration and navigation, mapping of risk zones and environmental preservation, among others. Detailed information on terrestrial altimetry is crucial in geographic database composition as many national agencies invest on specific programs for obtaining digital storage and virtual availability of this type of data. The present work utilized Digital Surface Models (DSM) of the PRISM sensor and bathymetric inferences using the OLI sensor, adjusted by histogram matching, in the generation of a spatial average resolution. The model allowed a three-dimensional visualization and geomorphological identification of the inlet of the Lagoa dos Patos (Rio Grande, Rio Grande do Sul - Brazil). The hybrid topobathymetric model presents as a versatile cartographic instrument and can be applied in the geomorphological analysis of the study area. The highlights of the methodology: the free access to the data through the repositories of JAXA and USGS; the identification of bedforms in shallow water, provided by the spatial resolution of the OLI sensor (30x30m) is observed; the possibility of morphodynamic monitoring of the submerged features

through a georeferenced time series (2013-2019). With respect to its limitations: the vertical accuracy of the DSM PRISM is 5m; the radiative transference modeling for bathymetric inference through the Coastal-Aerosol band necessarily requires *in situ* data acquired on dates close to satellite image acquisition; cloudiness and /or high sedimentation rates in suspension are likely to impair the visualization of the bedforms, while smaller objects on water (such as vessels) may incur misidentification due to overlapping targets.

**Key-words:** *geomorphology; coastal zone; bedforms; remote sensing.*

## INTRODUÇÃO

A geomorfologia de ambientes costeiros é controlada pela interação de processos continentais e marinhos, especialmente quando se tratam de zonas de sedimentação em águas rasas. Muitas aplicações geoespaciais nesses ambientes requerem um conhecimento detalhado de suas morfologias através de dados topobatimétricos, ou seja, da confecção cartográfica que integre de forma contínua dados topográficos e batimétricos em um mesmo produto (DANIELSON *et al.*, 2016). Tais mapeamentos são estratégicos para o planejamento territorial, sendo diariamente empregados ao redor do mundo na determinação de áreas para ocupação urbana, industrial e rural próxima a corpos hídricos; na exploração e manejo de reservas minerais; na segurança da navegação fluvial e litorânea; e na identificação de zonas de riscos costeiros.

Um conjunto de informações detalhadas sobre a altimetria terrestre é de grande valia na composição de bancos de dados geográficos, mais precisamente na elaboração de Sistemas de Informações Georreferenciados (SIGs) de média e alta resolução, à medida que muitas agências nacionais investem em programas específicos para a obtenção, armazenamento e disponibilização *online* desse tipo de



produto (JENSEN, 2009). Repositórios digitais permitem que diferentes usuários possam efetivamente aplicar dados altimétricos em suas áreas de atuação, com baixo custo e significativa agilidade, visto que as etapas de planejamento e coleta, fases estas que mais demandam por recursos (POULTER & HALPIN, 2008), já foram superadas. Como exemplos de tais iniciativas, pode-se citar o Programa Nacional de Elevação Digital vinculado ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), o portal da Agência Japonesa de Exploração Espacial (JAXA), o repositório topográfico do Centro Nacional de Documentação Geodésica e Cartográfica Polonês (CODGiK) e o esforço internacional na forma do banco de dados do tipo *Light Detection And Ranging* (LiDAR) do Portal Europeu de Dados.

A maior parte dos dados topográficos é armazenada em Modelos Digitais de Elevação (MDEs) que podem ser analisados conjuntamente com outros dados geoespaciais através de *softwares* SIG. O acesso a repositórios digitais de dados facilita a análise geomorfológica integrada (VILES, 2016), mediante a identificação e delimitação de diferentes morfologias sobrepostas em camadas de informações (*layers*) ou ainda por meio da modelagem computacional de superfícies matriciais (LONGLEY *et al.*, 2013).

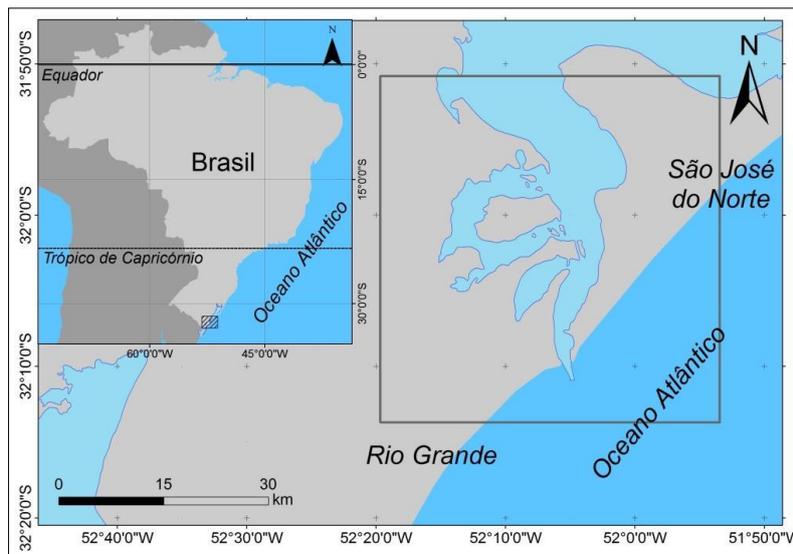
O presente trabalho objetivou a produção cartográfica sobre a geomorfologia da desembocadura da Lagoa dos Patos (sistema Lagunar Patos-Mirim) e planície costeira adjacente, localizada ao sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Para tanto, foi utilizada uma imagem do sensor PRISM e inferências batimétricas obtidas através do sensor OLI que possibilitaram a construção de uma superfície

geomorfométrica contínua, com o emprego de ajuste de borda via *matching* de histogramas para a produção de um Modelo Topobatimétrico Digital de Elevação (*Topobathymetric Digital Elevation Model* – TBDEM).

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A **extremidade sul da Lagoa dos Patos, sistema lagunar que abrange um complexo hidrográfico com aproximadamente 200.000 km<sup>2</sup>** (MÖLLER & FERNANDES, 2010), possui um comportamento estuarino influenciado pela variação sazonal em seus padrões de salinidade e circulação. HARTMANN & SCHETTINI (1991) destacam que os fatores controladores dessas variações estão associados primariamente à configuração morfológica da planície costeira (figura 1), somados a forte influência dos ventos da margem oceânica e da precipitação ao longo da área de recarga da bacia hidrográfica (média pluviométrica anual de 1.300 mm); e, de forma secundária, pela pequena amplitude de maré com cerca de 0,4 m (MÖLLER & FERNANDES, 2010).

As diferentes combinações dos fatores meteorológicos agem diretamente nas concentrações de material em suspensão, pois alteram os padrões de vazante e de enchente, resultando em uma distribuição irregular ao longo do ano, comportamento que também influencia a densidade da água na região de influência do estuário, na intensidade da estratificação ao longo da coluna d'água e na homogeneidade da cunha salina (HARTMANN & SCHETTINI, 1991; CALLIARI *et al.*, 2010; MÖLLER & FERNANDES, 2010).



**Figura 1:** Área de estudo – desembocadura da Lagoa dos Patos e planície costeira adjacente, Rio Grande do Sul – Brasil.

O comportamento sazonal dessas variáveis controlam os fluxos bidirecionais na Lagoa dos Patos, conferindo-lhe até quatro tipos distintos de circulação estuarina dependendo da combinação e intensidade de cada processo meteorológico (HARTMANN & SCHETTINI, 1991). A soma de períodos de intensa precipitação a montante da bacia e de ventos do quadrante norte resultam em volumes excedentes na drenagem, sendo que o comportamento a jusante pode apresentar características tipicamente fluviais (fluxo unidirecional), com predomínio de descargas de água doce no sentido continente-oceano. Em contrapartida, nos períodos de estiagem com associação de ventos do quadrante sul, a cunha salina pode chegar à porção média do sistema lagunar, ampliando os limites da influência oceânica de 80 para até 200 km em direção ao interior da Lagoa dos Patos (HARTMANN & SCHETTINI, 1991). Segundo MÖLLER & FERNANDES (2010), tais características podem ainda ser potencializadas pela influência de fenômeno *El Niño* ou *La Niña*. No primeiro, com o incremento do volume de chuvas na região sul do Brasil, a Lagoa dos Patos experimenta o aumento da descarga continental,

diminuindo assim, a extensão da cunha salina; no segundo, há o domínio de déficit pluviométrico e consequentemente, menor descarga continental, facilitando a intrusão e salinização do estuário.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O sensor *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping* (PRISM), a bordo do satélite ALOS-JAXA, tem, dentre outras funções, a capacidade tecnológica de gerar Modelos Digitais de Superfície (MDS) de média resolução espacial. Seus produtos possuem cobertura global focada nos continentes e algumas ilhas oceânicas. Isto é possível através do conjunto óptico composto por um telescópio para visualização a nadir (abertura de 70 km) e outros dois telescópios com inclinação de 24° a *forward* e *backward* (abertura de 35 km cada). A sobreposição dessas três tomadas a ângulos distintos (*triplet*) permite a reconstrução tridimensional dos dados de superfície, resultando em uma superfície matricial com resolução espacial de 1 arco de segundo (aproximadamente 30 m)



e precisão vertical de 5 m com referência altimétrica a partir do nível médio do mar.

O sensor multiespectral *Operational Land Imager* (OLI), da plataforma orbital LANDSAT 8, possui uma banda para auxílio de investigações costeiras que corresponde a uma faixa de 0,435 a 0,451  $\mu\text{m}$  (USGS, 2016). O sensor OLI permite, através da modelagem de transferência radiativa, a inferência batimétrica de corpos d'água rasos, como apresentado em LEAL ALVES *et al.* (2018). Isto é possível considerando que uma parcela refletida de radiância superficial em um corpo d'água opticamente raso é composta em grande parte por efeitos de reflexão de fundo em seu leito (MARITORENA *et al.*, 1994); e que a diferença de intensidade da energia eletromagnética em distintos níveis de profundidade pode revelar informações batimétricas (PACHECO *et al.*, 2015).

Coletas batimétricas através de sensores orbitais constituem uma promissora alternativa para a avaliação da profundidade do leito de áreas rasas (JAGALINGAM & HEDGE, 2017). Dados provindos desses sensores, lançados em órbita nos últimos anos, combinados com a modelagem de transferência radiativa, já possibilitam a elaboração de produtos batimétricos a partir de imagens multiespectrais e hiperespectrais (FONSTAD & MARCUS, 2005; PACHECO *et al.*, 2015, JAGALINGAM *et al.*, 2015; JAGALINGAM & HEDGE, 2017). Assim, a diferença de intensidade da energia eletromagnética em distintos níveis de profundidade pode revelar informações batimétricas com auxílio da modelagem computacional, conforme demonstra a Equação 1 de Beer-Lambert (STUMPF *et al.*, 2003):

$$I_{\lambda} = I_{0\lambda} \cdot e^{-(C_1 \cdot x)} + C_2 \quad (1)$$

Onde ( $e$ ) é a base logarítmica natural, ( $I$ ) é a intensidade da luz na faixa espectral  $\lambda$  refletida pelo

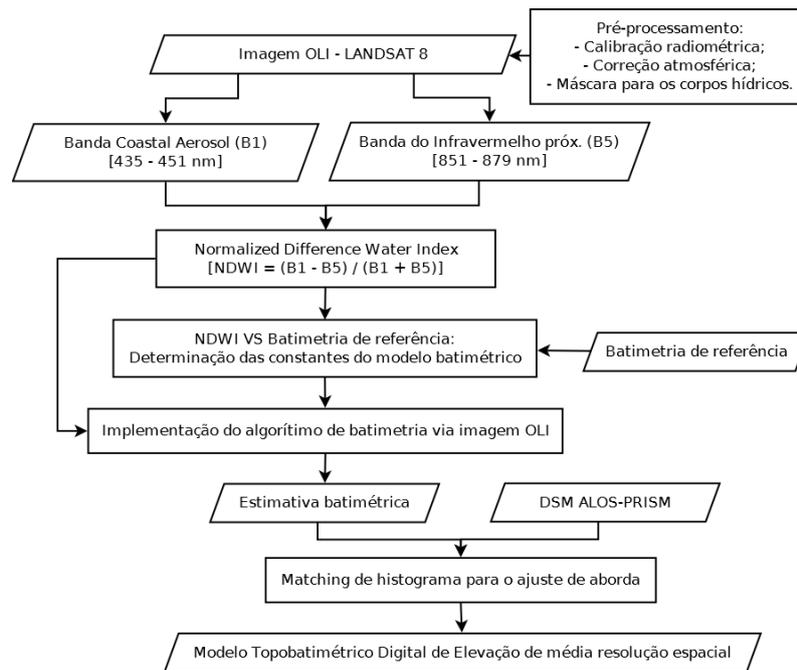
corpo d'água e coletada pelo sensor, ( $I_0$ ) é a intensidade da luz na faixa espectral  $\lambda$  à superfície, ( $C_1$ ) é constante de absorção média da luz na faixa espectral  $\lambda$  através da coluna d'água, ( $x$ ) é a espessura percorrida pela energia eletromagnética (caminho óptico) e  $C_2$  é uma constante de ajuste, designada como condição de contorno do modelo.

Tendo como base a abordagem descrita, o sensor OLI da plataforma orbital LANDSAT 8 foi concebido com uma banda específica para a investigação de áreas rasas, denominada banda *Coastal-Aerosol* ou B1 (USGS, 2016), permitindo uma inferência mais acurada da batimetria destas áreas. Para a modelagem batimétrica foram utilizados dados-imagem do sensor orbital OLI e dados de referência constituindo a batimetria da área de interesse obtida via levantamento monofeixe sonar, devidamente georreferenciados por GPS diferencial (DGPS), com posterior correção do sinal e ajuste de *offset*.

Com as bandas de interesse previamente calibradas, além de aplicada a correção atmosférica, foi calculado o *Normalized Difference Water Index* (NDWI), processo intermediário para a obtenção dos dados batimétricos, conforme a equação 2:

$$NDWI = \frac{B1 - B5}{B1 + B5} \quad (2)$$

Sequencialmente foram realizados diagramas de dispersão entre os dados de batimetria. As constantes ( $C_1$  e  $C_2$ ) foram determinadas através da regressão entre os valores de batimetria de referência e os valores de NDWI obtidos via imagem OLI, utilizando-se o valor mediano determinado para  $C_1$  e  $C_2$ . Para a efetividade do modelo, foi assumido que toda a área de interesse é composta pelo mesmo material de fundo e que seu comportamento radiométrico não sofre alterações na área de estudo.



**Figura 2:** Fluxograma apresentando as principais etapas metodológicas da execução do modelo topobatimétrico digital.

Após a determinação das constantes ( $C_1$  e  $C_2$ ), foi aplicada a equação 3 em uma imagem OLI pré-processada, obtendo-se uma imagem de estimativa de batimetria correspondente.

$$z = \frac{-1}{c_1} \ln NDWI + c_2 \quad (3)$$

Para a aplicação da equação 3, considera-se que a intensidade radiante incidente é homogênea em toda a cena e que a espessura percorrida pela luz na coluna d'água representa a profundidade ( $z$ ). Desta maneira, os valores de intensidade ( $I$ ) presentes na equação 2 podem ser substituídos pela radiância ( $L_\lambda$ ) e, assim, isolada a variável batimétrica. O conjunto das operações realizadas, bem como a hierarquia de processamento, podem ser melhores visualizados através do fluxograma metodológico (figura 2).

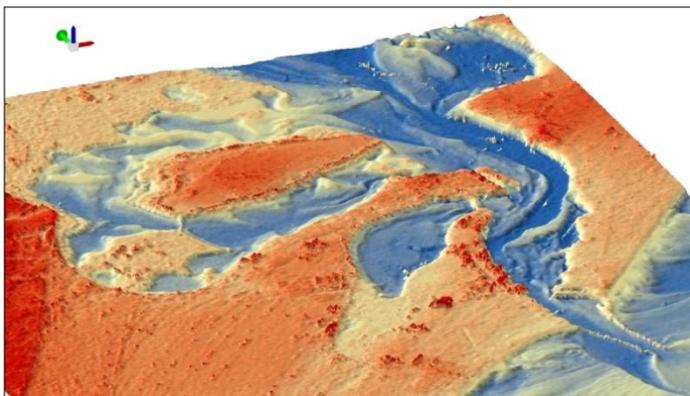
Conforme DANIELSON *et al.* (2016), normalmente um TBDEM é uma representação tridimensional que integra dados de fontes distintas, elevação de terras emersas e profundidade de terras submersas, além da multitemporalidade dos mosaicos,

fatores que podem causar discrepâncias tanto no alinhamento horizontal, quanto vertical. Por esses motivos há a necessidade de padronizar as referências em um sistema horizontal e vertical comum (*datum*). Para tanto, a etapa final de confecção do TBDEM consistiu no alinhamento através da técnica de *matching* de histogramas (conjunto significativo e normalizado de correspondências) com uso do *software* ENVI, o que possibilitou a união dos modelos topográficos e batimétricos em um único produto *raster* contínuo, preservando o *datum* horizontal WGS 84 e o *datum* vertical EGM 96, nativos da imagem ALOS-PRISM.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

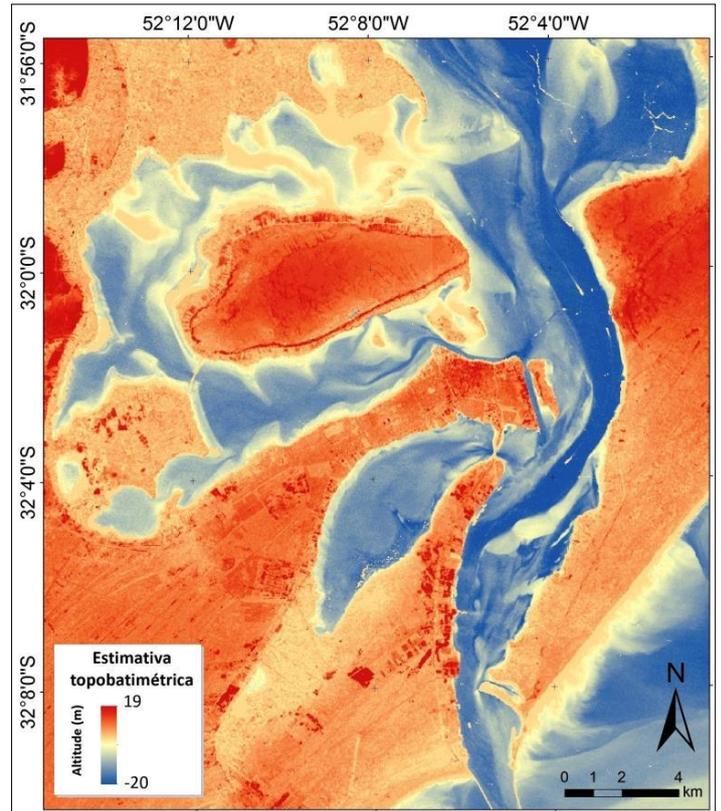
O modelo topobatimétrico resultante é composto por duas imagens do sensor PRISM e uma do sensor OLI, conservando o sistema de coordenada nativo das mesmas – WGS 84. Devido às diferentes resoluções espaciais de cada sensor, bem como a coleta em datas

distintas, qualquer aproximação quantitativa do conjunto de dados é extremamente limitada. Somasse ao fato da área de estudo não possuir uma rede de referência ortométrica ao longo da orla ou mesmo uma rede maregráfica bem distribuída, limitando-se a pontos específicos do canal de acesso. No entanto, o modelo topobatimétrico se mostra uma excelente ferramenta para visualização tridimensional qualitativa da desembocadura da Lagoa dos Patos e planície costeira adjacente (figura 3).



**Figura 3:** Visualização tridimensional da desembocadura da Lagoa dos Patos e planície costeira adjacente por meio do software ArcScene. A seta verde (esquerda superior) indica a orientação norte para a figura.

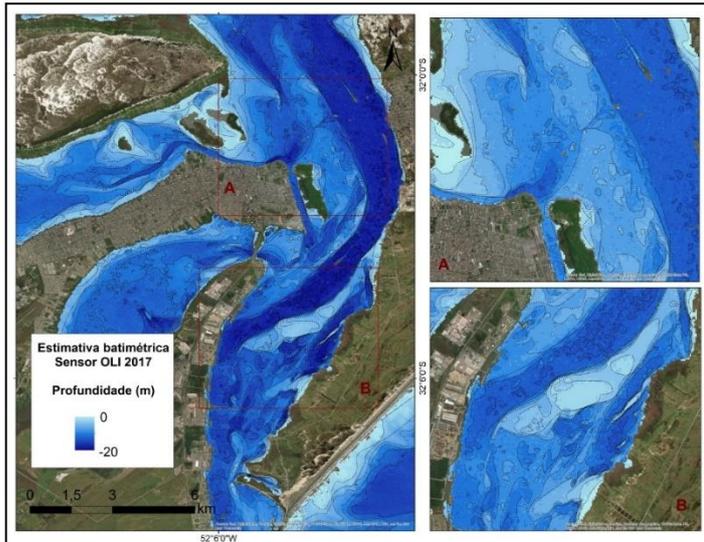
A composição topobatimétrica PRISM + OLI permite a visualização generalizada do sistema geomorfológico (figura 4). A porção emersa representa um Modelo Digital de Superfície (MDS), visto que conserva a forma dos alvos localizados acima do solo, tais como: edificações, viadutos, pontes, conjuntos florestais, entre outros. Sobre o macro relevo da região, o MDS permite a clara identificação da quebra entre as Terras Altas, formadas pelo embasamento cristalino, e as Terras Baixas da Planície Costeira (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995), incluindo as sucessivas cristas e cavas dos cordões litorâneos regressivos (DILLENBURG *et al.*, 2017) conforme se pode observar junto a porção centro-inferior da figura 4.



**Figura 4:** Mapa topobatimétrico da desembocadura da Lagoa dos Patos e planície costeira adjacente, Brasil.

Com relação às formas antropizadas, as áreas de maciços florestais, zona industrial e grandes estruturas urbanas são distinguíveis em vermelho escuro (figura 4), que correspondem às maiores cotas. Os valores mais baixos, identificados através da coloração azul escuro, remetem a canais menores que garantem a navegabilidade de pequenas embarcações (figura 5 A) e ao talvegue do canal da desembocadura lagunar – morfologia regularmente dragada devido à circulação de navios de grande calado na região (figura 5 B).

Na porção submersa é possível identificar as formas de fundo do ambiente lagunar raso descritos por CALLIARI *et al* (2010) como margens e esporões



**Figura 5:** Destaque para a morfologia submersa, como o talvegue do Canal do Norte (A); e o conjunto de formas de fundo denominadas Coroa de Dona Mariana (B), na margem leste do canal de acesso à laguna.

arenosos, pontais e bancos de pequena profundidade (morfologia em azul claro na figura 5), típicos de ambientes a jusante de grandes sistemas hidrográficos. Importante salientar que a observação dessas formas sedimentares de águas extremamente rasas (até 2m de profundidade) seriam inacessíveis para a maioria dos instrumentos de sondagem tradicionais. Na maior parte dessas formas de fundo é nítido o alongamento em direção à desembocadura do sistema lagunar, seguindo o sentido majoritário do transporte de sedimentos conforme salientado por CALLIARI *et al.* (2010).

Mesmo em resolução mediana, o modelo topobatimétrico possibilita ainda a identificação do canal da desembocadura lagunar, importante morfologia para a navegação da região (figura 05 B), além das áreas baixas da orla lagunar dos municípios do Rio Grande e São José do Norte (figura 1) que são ciclicamente afetados pelas cheias da Lagoa dos Patos através da ação combinada de alta precipitação na bacia a montante e processos de represamento das águas devido à ação de ventos do quadrante sul.

## CONCLUSÃO

O modelo topobatimétrico híbrido se apresenta como um versátil instrumento de visualização tridimensional e identificação de feições. O TBDEM também pode ser utilizado como base cartográfica para produção e análise de informação geomorfológica da desembocadura da Lagoa dos Patos e planície costeira adjacente, em especial das margens arenosas, canais e demais formas sedimentares de águas rasas presentes na área de estudo.

Nesse sentido, salienta-se como principais vantagens obtidas pela aplicação da metodologia: o livre acesso aos dados através dos repositórios da *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) e *United States Geological Survey* (USGS); a identificação de formas de fundo em águas rasas, desde que observada a resolução espacial dos sensores empregados (30 m X 30 m); a possibilidade de acompanhamento do comportamento morfodinâmico das feições submersas através de uma série temporal devidamente georreferenciada (2013-2019).

Cabe também destacar as limitações da abordagem, dentre elas: a acurácia vertical do Modelo Digital de Superfície (DSM) PRISM de 5m; a modelagem de transferência radiativa para a inferência batimétrica através da banda *Coastal-Aerosol* (OLI) requer necessariamente dados *in situ* adquiridos em datas próximas da aquisição da imagem satelital; a nebulosidade e/ou alta taxa de sedimentos em suspensão provavelmente poderá inviabilizar a visualização das formas de fundo, enquanto objetos menores sobre a água (como embarcações) podem incorrer em erros de identificação devido a sobreposição de alvos.



## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Engenharia Costeira (LEC) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG) e a Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG) pelo acesso aos dados ecobatimétricos, bem como a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) e a *United States Geological Survey* (USGS) pelos dados PRISM e OLI, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- CALLIARI, L.; CUNHA, R. P.; ANTIQUEIRA, J.A.F. Geomorfologia e dinâmica sedimentar. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C. (Eds.) 2010. O estuário da Lagoa dos Patos: Um século de transformações. 1.ed. p. 31-41, Rio Grande: FURG. (ISBN: 978-85-7566-144-4).
- DANIELSON, J. J.; POPPENGA, S. K.; BROCK, J. C.; EVANS, G. A.; TYLER, D. J.; GESCH, D. B.; THATCHER, C. A.; BARRAS, J. A. 2016. Topobathymetric Elevation Model Development using a new methodology: Coastal National Elevation Database. *Journal of Coastal Research*, SI, 76, p. 75-89.
- DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; CARON, F.; SAWAKUCHI, A.O.. 2017. The complex prograded Cassino barrier in southern Brazil: Geological and morphological evolution and records of climatic, oceanographic and sea level changes in the last 7–6 ka. *Marine Geology*, 390, p. 106-119. (doi.org/10.1016/j.margeo.2017.06.007)
- FONSTAD, M.A.; MARCUS, W.A. 2005. Remote Sensing of Stream Depths with Hydraulically Assisted Bathymetry (HAB) Models. *Geomorphology*, 72, 320-339. (doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.005).
- HARTMANN, C.; SCHETTINI, C. A. F. 1991. Aspectos Hidrológicos na Desembocadura da Laguna dos Patos, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 21(4), 371-377.
- JAGALINGAM, P.; AKSHAYA, B.J.; HEDGE, A.V.. 2015. Bathymetry Mapping Using Landsat 8 Satellite Imagery. *Procedia Engineering*, 116, 560-566. (http://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.326).
- JAGALINGAM, P.; HEDGE, A.V., 2017. Estimation of Bathymetry Along the Coast of Mangaluru Using Landsat-8 Imagery. *International Journal of Ocean and Climate Systems*, v.8, 2, 71-83. (doi.org/10.1177/1759313116679672)
- JENSEN, J. R. 2009. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 598 p. São José dos Campos: Parêntese. (ISBN: 978-85-60507-06-1).
- LEAL ALVES, D. C.; ESPINOZA, J. M. A.; ALBUQUERQUE, M. G.; SILVA, M. B.; FONTOURA, J. S.; SERPA, C.; WESCHENFELDER, J. 2018. Bathymetry estimation by orbital data of OLI sensor: A case study of the Rio Grande Harbor, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI, 85, p. 51-55.
- MARITORENA, S.; MOREL, A. GENTILI, B. 1994. Diffuse reflectance of oceanic shallow waters: influence of water depth and bottom albedo. *Limnology Oceanography*, 39, p. 1689-1703. (doi.org/10.4319/lo.1994.39.7.1689).
- MÖLLER, O; FERNANDES, E. Hidrologia e hidrodinâmica. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C. (Eds.) 2010. O estuário da Lagoa dos Patos: Um século de transformações. 1.ed. p. 17-30, Rio Grande: FURG. (ISBN: 978-85-7566-144-4).
- PACHECO, A.; HORTA, J.; LOUREIRO, C.; FERREIRA, Ó. 2015. Retrieval of nearshore bathymetry from Landsat 8 images: A tool for coastal monitoring in shallow waters. *Remote Sensing of Environment*, 159, p. 102-116. (doi.org/10.1016/j.rse.2014.12.004).
- POULTER, B.; HALPIN, P.N. 2008. Raster modelling of coastal flooding from sea-level rise. *International Journal of Geographical Information Science* 22 (2): 167-182, (doi.org/10.1080/136588107



0137 1858).

STUMPF, R. P.; BLACKBURN, K., SINCLAIR, M. 2003. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography*, 48(1), 547–556. (doi.org/10.4319/lo.2003.48.1\_part\_2.0547)

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. 2016. LANDSAT 8 (L8) Data users handbook. V2. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 106 p.

VILES, H. 2016. Technology and geomorphology: Are improvements in data collection techniques transforming geomorphic science? *Geomorphology*, 270,121-133 (doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.011).

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CECO/UFRGS, 45 p.