

DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS AFETADAS EM RELAÇÃO ÀS COTAS PREVISTAS POR PREVISÕES HIDROLÓGICAS: CONTRIBUIÇÃO PARA A GESTÃO DE RISCOS DE INUNDAÇÕES NAS ÁREAS URBANAS DE PEDRO OSÓRIO E CERRITO.

EDUARDO LUCEIRO SANTANA¹; LAURA MARTINS BUENO²; OTTONI MARQUES MOURA DE LEON³; REGINALDO GALSKIBONCZYNSKI⁴; SAMUEL BESKOW⁵; TAMARA LEITZKE CALDEIRA BESKOW⁶.

¹Universidade Federal de Pelotas - eduardoluceirosantana@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas - laurambueno@outlook.com

³Universidade Federal de Pelotas - ottonibaixo@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas - rbonczynski@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas - samuelbeskow@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas - tamaraleitzkecaldeira@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Inundações são eventos naturais que ocorrem devido ao aumento do nível da água durante períodos de intensas chuvas, sendo um risco alto para a maioria das cidades do planeta (Lee *et al.*, 2020). Possuem impacto significativo em termos de perdas econômicas e sociais em todo o mundo (Merz *et al.*, 2021). No Brasil, eventos hidrometeorológicos causam danos socioeconômicos significativos, evidenciando a necessidade de um aumento de ações de previsão e prevenção (Saito *et al.*, 2023).

Os desastres naturais tendem a aumentar em frequência e intensidade, por conta do aquecimento global. E seus impactos são complexos, nas últimas décadas o número de populações humanas atingidas por eles aumentou significativamente, essas tendem a ter problemas econômicos por conta dos danos causados (Cappelli *et al.*, 2021).

No Rio Grande do Sul, as inundações são eventos recorrentes, como evidenciado por Menezes & Scoti (2013), que analisou o período de 1980 a 2010. Mais de 57% dos municípios gaúchos registraram pelo menos uma inundação ao longo desse período. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2024) que no ano de 2024, 876 mil pessoas tiveram danos diretos ocasionados por enchentes, 418 municípios do estado decretaram estado de calamidade ou estado de emergência. A Confederação Nacional de Municípios (2024) divulgou que nas enchentes que assolaram o Rio Grande do sul, no ano de 2024, causaram danos financeiros superiores a 12 milhões de reais. Fatos que evidenciam o quão pulsantes é a necessidade de aprimorar sistemas de previsão e prevenção de impactos aos eventos hidrogeológicos.

Os municípios de Cerrito e Pedro Osório, localizados na planície de inundação do Rio Piratini, têm histórico de inundações que causaram danos severos à população (Robaiana *et al.*, 2024). Essas áreas necessitam de maior detalhamento altimétrico para aprimorar a eficiência dos modelos hidrológicos.

O presente estudo visa suprir lacunas existentes em relação a informações altimétricas para as margens do Rio Piratini, subsidiando com maior precisão na definição das regiões impactadas pela cota estimada por um modelo preditivo com 24 horas de antecedência implementado pelo Laboratório de Modelagem hidrológica da Universidade Federal de Pelotas.

O objetivo principal do estudo é gerar informações altimétricas para os municípios de Cerrito e Pedro Osório com resolução que permita mapear as zonas de maior risco para inundação.

2. METODOLOGIA

A delimitação da área de estudo foi realizada com base na viabilidade de coleta de pontos geoespaciais, assegurando que o processo de interpolação resultasse em um modelo digital de elevação mais preciso e representativo. Assim, a área totaliza 6,4729 Km², permitindo uma análise abrangente das cotas previstas que poderão ser atingidas pelo Rio Piratini.

A área de estudo engloba o perímetro urbano dos municípios de Pedro Osório e Cerrito, localizados no sul do Rio Grande do Sul. O clima da região é subtropical úmido (Cfa, segundo Köppen), com verões quentes e chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Os municípios são separados pelo Rio Piratini, estando localizados à sua margem. Na região o solo é predominantemente composto por Chernossolos, Argissolo, Planossolos e Gleissolos (Da Cunha; Silveira; 1995).

Os processos detalhados na metodologia estão representados de forma esquemática no fluxograma ilustrado na Figura 1, onde é possível acompanhar o fluxo desde a coleta dos dados até a obtenção do produto final.

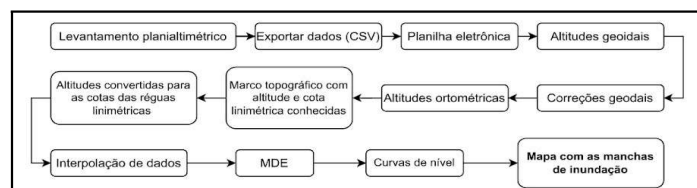


Figura 1. Fluxograma de elaboração do estudo.

Fonte: Autores

O levantamento planialtimétrico da área foi feito com o Receptor RTK GNSS Reach RS-2 da EMLID, que garante alta precisão na coleta de dados de latitude, longitude e altitude. Os dados foram gerenciados e armazenados no aplicativo Emlid Flow, onde foi criado um projeto utilizando o sistema de coordenadas Sirgas 2000 / UTM 22S e a altitude elipsoidal como datum vertical.

Os dados foram coletados usando o sistema NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol), que permitiu a correção em tempo real das coordenadas, aumentando a precisão, trabalhando com uma margem de erro inferior a 1,5 cm. A base do NTRIP estava localizada em -52.41762854° L, -31.80244944° N, com altitude de 37.138 m. As coletas ocorreram em 8 saídas de campo entre 16/02/2024 e 23/08/2024 e totalizaram 2496 pontos amostrais.

Os dados de latitude, longitude e altitude foram exportados em formato CSV e organizados em uma planilha eletrônica para os cálculos seguintes. As altitudes elipsoidais foram convertidas para altitudes ortométricas, aplicando correções geodais obtidas através do HgeoHNOR2020, modelo de ondulação geoidal específico para o Brasil, desenvolvido pelo IBGE.

Para garantir a correlação das altitudes coletadas com as cotas linimétricas das réguas locais, foi instalado um marco topográfico cuja altitude foi ajustada com base nas cotas das réguas. Subtraindo a altitude do marco pela cota registrada, foi possível integrar os levantamentos, assegurando que os dados refletissem as condições das réguas linimétricas.

Com as altitudes ortométricas ajustadas, os dados foram interpolados para gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo. Esse processo foi realizado por meio do plugin SmartMap do QGIS, que não apenas oferece a interpolação de dados como também fornece estatísticas detalhadas do processo. Essas estatísticas permitem uma melhor compreensão dos resultados e possibilitam ajustes no semivariograma experimental, aprimorando assim a qualidade da interpolação e a acurácia do MDE gerado. Com o MDE processado, foram geradas as curvas de nível, representando os pontos críticos de variação de elevação na área.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ajuste do semivariograma com o modelo gaussiano (Figura 1a) apresentou nugget (C_0) de 2,753 e range (A) de 894,742 metros, indicando boa correlação espacial até essa distância. O $R^2 = 0,978$ (Figura 1b) mostra que o modelo de krigagem captura 97,8% da variação dos dados observados.

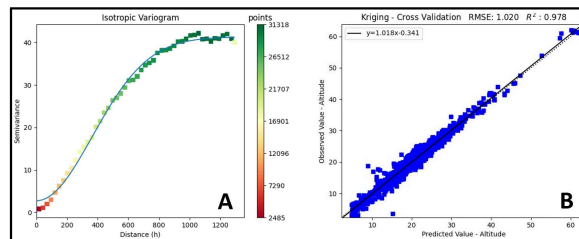


Figura 1. a) Semivariograma isotrópico b) Validação cruzada da krigagem
Fonte: Autores

Na Figura 2 encontra-se o mapa final gerado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido pela interpolação dos dados altimétricos encontrados ao longo da área de estudo.

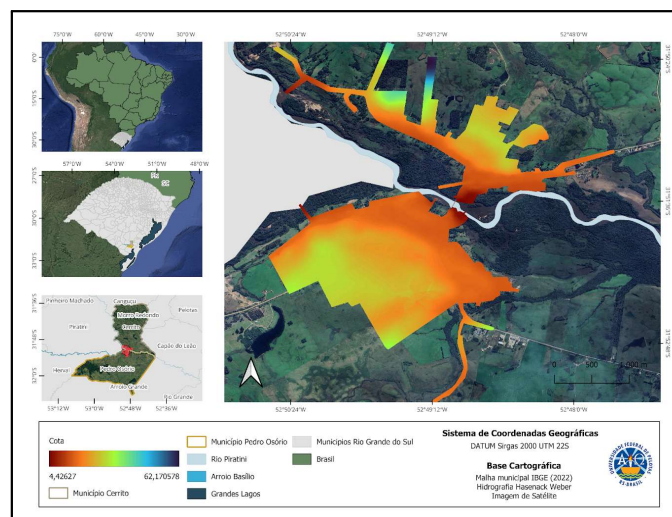


Figura 2. Mapa altimétrico correlacionado com as cotas linimétricas
Fonte: Autores

Conforme a legenda, as menores cotas estão representadas pelas cores mais quentes, permitindo uma identificação visual clara das áreas com maior probabilidade de serem atingidas por eventos de inundação. A legenda esclarece essas variações altimétricas, com uma escala que vai de 4,42627 metros a

63,17678 metros. Assim, o mapa oferece uma visualização precisa das áreas de risco, sendo uma ferramenta essencial para prevenir e gerenciar os impactos das inundações.

Aliando esses dados com as previsões de cotas que o Rio Piratini alcançará, realizadas pelo modelo hidrológico, é possível identificar com maior precisão as zonas que serão impactadas, com uma antecedência de 24 horas. Isso contribui significativamente para mitigar os riscos de perdas materiais e, potencialmente, de vidas humanas.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que a representação visual e precisa das áreas urbanas suscetíveis a inundações, resultante da modelagem hidrológica nos municípios de Pedro Osório e Cerrito, se torna uma ferramenta crucial para a gestão de riscos e alerta de inundações. Ademais, essa abordagem facilita a tomada de decisões no planejamento de ações preventivas e emergenciais, contribuindo também para o planejamento urbano, especialmente na definição de áreas de habitação e no planejamento do saneamento básico da cidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAPPELLI, F. et al. **A armadilha dos desastres “naturais” induzidos pelas mudanças climáticas e da desigualdade.** Global Environmental Change , v. 70, p. 102329, 2021.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. **Balanço das chuvas no Rio Grande Sul aponta para R\$ 12,2 bilhões em prejuízos financeiros.** CNM , 14 jun. 2024. Disponível em: <https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/balanco-das-chuvas-no-rio-grande-sul-aponta-para-r-12-2-bilhoes-em-prejuizos-financeiros> . Acesso em: 1 out. 2024.
- DA CUNHA, NG; SILVEIRA, RJ da C. **Geomorfologia, solos e capacidade de uso das terras do município de Pedro Osório.** 1995.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **876 mil pessoas foram atingidas diretamente pelas enchentes no Rio Grande do Sul.** IPEA , 17 jul. 2024. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/15183-876-mil-pessoas-foram-diretamente-atingidas-pelas-enchentes-no-rio-grande-do-sul> . Acesso em: 3 out. 2024.
- LEE, JH et al. **Sistema integrado de previsão e alerta de inundações contra chuvas repentinas em riachos urbanos de pequena escala.** Atmosphere , v. 11, n. 9, p. 971, 2020.
- MENEZES, DJ; SCOTTI, AAV **Inventário de registro de inundações no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2010.** In: ROBAINA, LE de S.; TRENTIN, R. (Org.). Desastres naturais no Rio Grande do Sul . Santa Maria: Editora UFSM, 2013. p. 163-179.
- MERZ, B. et al. **Causas, impactos e padrões de inundações desastrosas de rios.** Nature Reviews Earth & Environment , v. 2, n. 9, p. 592-609, 2021.
- ROBAINA, LE de S. et al. **Desastres hidrológicos: levantamento para o estado do Rio Grande do Sul, Brasil.** 2024.
- SAITO, SM et al. **A população urbana está exposta a riscos de penetração, inundações e enxurradas no Brasil.** Sociedade & Natureza , v. e46320, 2023.