Sistema de verificação de vulnerabilidade a inundações no Rio Grande do Sul

Gabriel C. Almeida¹, Gustavo E. Marcatti¹, Marconi de A. Pereira¹

¹ Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) - DETEM Caixa Postal 131 - CEP 36.497-89 - Ouro Branco – MG – Brazil

gabrielcalmeida1804@aluno.ufsj.edu.br,{gustavomarcatti, marconi}@ufsj.edu.br

Abstract. This study proposes a system for identifying areas susceptible to flooding, integrating geospatial data from (INDE, GOV) and census data (IBGE). In addition, remote sensing images from the Sentinel-2 satellite were used, allowing the temporal analysis of flood events. The methodology included image filtering, the application of a spectral index, such as MNDWI (a modified version of NDWI), and segmentation by thresholding for the automatic identification of flooded areas. The integration of these techniques made it possible to obtain more accurate results than those of official agencies, demonstrating the potential of the system to improve risk management and territorial planning in Rio Grande do Sul.

Resumo. Este estudo propõe um sistema de identificação de áreas suscetíveis a inundações, integrando dados geoespaciais do (INDE, GOV) e censitários (IBGE). Além disso, foram utilizadas imagens de sensoriamento remoto do satélite Sentinel-2, permitindo a análise temporal de eventos de inundação. A metodologia incluiu a filtragem de imagens, a aplicação de índice espectral, como MNDWI (versão modificada do NDWI), e a segmentação por limiarização para a identificação automática de áreas alagadas. A integração dessas técnicas possibilitou obter resultados mais precisos que os dos órgãos oficiais, demonstrando o potencial do sistema para aprimorar a gestão de riscos e o planejamento territorial no Rio Grande do Sul.

1. Introdução

As inundações representam um dos desastres naturais mais recorrentes no Brasil, resultando em prejuízos materiais, econômicos e sociais significativos. Nesse cenário, destacase a inundação ocorrida entre abril e maio de 2024 na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, a qual se configura como uma das maiores já registradas na região.

Os impactos socioambientais das inundações são evidentes não apenas na perda de vidas humanas, mas também nos danos irreparáveis à biodiversidade e aos ecossistemas locais. O assoreamento dos rios, a destruição da vegetação ripária e a contaminação dos cursos d'água por resíduos sólidos e produtos químicos são algumas das consequências ambientais das enchentes recorrentes [Farias and Mendonça 2022]. Estudos apontam que regiões altamente urbanizadas apresentam maior vulnerabilidade devido à impermeabilização do solo e à redução das áreas de infiltração de água [Centre 2020].

Diante desse contexto, o presente trabalho propõe um sistema de identificação de áreas de vulnerabilidade a inundações, baseado na análise de dados geoespaciais da

Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE, GOV) e censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Além disso, foi utilizada imagem de satélite do Sentinel-2, permitindo a identificação de áreas alagadas por meio da análise temporal de eventos de inundação. Técnicas de sensoriamento remoto foram aplicadas para aprimorar a precisão do estudo, incluindo a filtragem de imagens, o cálculo do índice espectral MNDWI (versão modificada do NDWI), além da segmentação por limiarização para detecção automática de regiões inundadas.

2. Conceitos e fundamentos

A vulnerabilidade às inundações é determinada por fatores ambientais, sociais e econômicos, que influenciam a capacidade das populações de prevenir, responder e se recuperar desses eventos. A exposição de comunidades a áreas de risco, somada à precarização da infraestrutura e à baixa resiliência socioeconômica, agrava os impactos desses desastres [Guimarães et al. 2014]. Estudos demonstram que a vulnerabilidade socioambiental não é apenas consequência de fenômenos naturais, mas também resultado de processos históricos de ocupação e desigualdade social, que tornam determinados grupos mais suscetíveis aos danos [Goerl et al. 2012].

A integração de dados geoespaciais e censitários permite a identificação de áreas vulneráveis a inundações, combinando informações sobre topografia, uso do solo e hidrografia com indicadores socioeconômicos que refletem a capacidade adaptativa das populações afetadas [Guimarães et al. 2014]. O cruzamento dessas bases possibilita a criação de índices de vulnerabilidade socioambiental, tornando-se uma ferramenta essencial para a gestão de riscos e a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação de desastres e ao planejamento territorial sustentável [Goerl et al. 2012].

3. Metodologia

A metodologia adotada para o desenvolvimento do sistema de identificação de suscetibilidade a inundações foi estruturada em três etapas principais: (1) preparação da base de dados, (2) cálculo do risco de inundação e (3) criação do sistema de visualização geoespacial. O objetivo dessas etapas é garantir a integração de dados relevantes, a visualização eficiente das informações e a acessibilidade da plataforma para usuários finais.

3.1. Preparação da base de dados

A base de dados foi construída a partir de informações geoespaciais relacionadas à suscetibilidade a inundações, integrando camadas hidrológicas, topográficas e administrativas de fontes públicas e institucionais. Destacam-se as camadas "Cursos de água" da ANA, essenciais para a identificação das redes hidrográficas, além das bases "Bairros" e "Municípios" do IBGE, utilizadas para delimitação territorial.

Dados de vulnerabilidade foram incorporados por meio das camadas "População em área de risco" e "Setores censitários", ambas do IBGE, além da base "Vulnerabilidade inundações" do INDE, que fornece informações históricas sobre eventos de inundação.

A modelagem da base de dados (Figura 1) foi realizada no OMT-G Designer [Borges et al. 2001], assegurando uma estrutura otimizada para consultas e análises geográficas. A base gerada encontra-se em https://ufsj.edu.br/marconi/ inundacoes_no_rio_grande_do_sul.php



Figura 1. Modelagem do banco de dados.

O cruzamento dos dados foi realizado através da interseção das camadas "População em área de risco", "Setores censitários" e "Vulnerabilidade inundações", possibilitando a identificação de áreas sensíveis.

3.2. Cálculo do risco de inundação

Essa etapa consiste na análise das imagens de satélite e cálculo de índices espectrais para identificação de áreas suscetíveis a inundações. Essa abordagem se fez necessária devido à ausência de informações completas sobre o risco de inundação em bases oficiais, exigindo o cálculo próprio a partir de dados geoespaciais e de sensoriamento remoto. Dessa forma, foi possível obter uma representação mais precisa das regiões afetadas, complementando as limitações das fontes disponíveis. Definida da seguinte forma:

O Estado do Rio Grande do Sul foi delimitado como recorte espacial, utilizando dados administrativos do IBGE. A identificação de períodos de inundação foi baseada na análise de registros históricos e séries temporais, no período de 29/04/2024 a 13/05/2024. Para o cálculo do Índice de água normalizada (NDWI) e sua versão modificada (MNDWI), foram usadas imagens de sensores ópticos do satélite Sentinel-2, escolhidos devido à sua resolução espacial e temporal adequada. As imagens foram filtradas para remoção de pixels problemáticos, como presença de nuvens, sendo consideradas apenas aquelas com cobertura de nuvens inferior a 10%. O índice MNDWI foi calculado a partir de bandas do infravermelho de bandas curtas (SWIR) e do verde (GREEN) (Equação 1), para realce de áreas alagadas, minimizando interferências de vegetação e superfícies construídas. O MNDWI foi escolhido como referência para identificação de áreas inundadas, tal escolha foi baseada na avaliação visual do resultado gerado pelo classificador e a imagem de cor verdadeira (RGB) da área de interesse inundada.

$$MNDWI = \frac{(GREEN - SWIR)}{(GREEN + SWIR)} \tag{1}$$

Para a classificação automática das inundações, foi empregada a técnica de segmentação por limiarização (*Thresholding*), um método não supervisionado para detecção de regiões alagadas. Definiu-se valor limite de threshold, onde valores superiores 0.1 indicam a presença de água. Esse critério possibilitou a segmentação automática

das áreas inundadas, reduzindo interferências de superfícies que poderiam gerar falsos positivos, como solo úmido e áreas sombreadas. Por fim, o pós-processamento das imagens incluiu a remoção de ruídos, suavização de bordas e eliminação de pixels isolados, garantindo maior precisão na detecção das áreas alagadas. Foram executadas as etapas anteriores para um período considerado normal para o local, isto é, sem inundação. Esse processo foi necessário para remover o leito normal do curso d'água da contabilização de áreas inundadas.

Através do processamento da imagem do polígono (Figura 3) e da classificação do modelo (Figura 4), quantificou-se a diferença entre área inundadada e área de risco em um script Python disponível em https://github.com/bz-gabriel/ analise-comparativa. As imagens foram redimensionadas para manter correspondência de escala, e as áreas em vermelho foram isoladas, a fim de comparação em número de pixels, permitindo uma estimativa proporcional entre as regiões. A partir das máscaras geradas, avaliou-se a diferença percentual entre as áreas.

A execução desse processo permitiu uma análise mais robusta da vulnerabilidade a inundações. Consultas disponíveis em https://bz-gabriel.github.io/ sql-geoinfo/.

3.3. Sistema de visualização

Para a visualização e disponibilização das informações geoespaciais, utilizou-se o Geo-Server, servidor de mapas *open-source*, pela capacidade de publicar dados geoespaciais em formatos padrão Web Map Service (WMS) e Web Feature Service (WFS), diferindo do ArcGIS Server (solução proprietária) ou MapServer (configuração mais complexa), integrou-se ao banco de dados PostgreSQL, garantindo a atualização dinâmica.

Para a identificação das áreas mais vulneráveis, elaborou-se uma matriz de priorização baseada nos conceitos propostos por [Guimarães et al. 2014]. Essa matriz, construída como prova de conceito, atribui pesos às variáveis "tipo" e "situação" dos setores censitários, vistos nas tabelas 1 e 2. Dessa forma, obtem-se o índice de prioridade (Equação2), permitindo uma classificação estruturada das regiões conforme seu grau de vulnerabilidade.

$$i = P_{sit} * P_{tipo} \tag{2}$$

O índice de prioridade (i), é definido pelo produto entre peso da situação (P_{sit}) e o peso do tipo (P_{tipo}) .

4. Resultados

A seguir, são apresentados os principais elementos visuais e funcionais do sistema desenvolvido, incluindo a página inicial, a interface do mapa interativo e a seleção de camadas disponíveis.

A integração com o GeoServer possibilita a renderização dinâmica das camadas espaciais, garantindo uma experiência fluida para os usuários. Na Figura 2, é demonstrado o mapa de prioridade, em vermelho para a mais alta $(i \ge 80)$, amarelo para alta $(30 \le i < 80)$, verde média $(9 \le i < 30)$ e azul baixa (i < 9). Na Figura 3, comparou-se a área de risco delimitada pelas fontes oficiais (IBGE) com a extensão real do alagamento

CD_SIT	Situação	Peso
1	Área urbana alta dens.	10
2	Área urbana baixa dens.	8
3	Núcleo urbano	9
5	Povoado	7
6	Núcleo rural	6
7	Lugarejo	5
8	Área rural	4
9	Massas de água	3

Tabela 1. Pesos para situação.

CD_TIPO	Тіро	Peso
0	Não especial	1
1	Favela	9
2	Quartel	8
3	Alojamento	5
4	Baixo patamar domic.	7
5	Indígena	6
6	Prisional	4

Convento / hospital

Agrovila

Quilombola

10

2

3

Tabela 2. Pesos para tipo.

identificada por imagens de satélite. Na Figura 4, compara-se a extensão da inundação real com a classificação de áreas suscetíveis a alagamentos. Na imagem à direita, as regiões em azul representam corpos d'água naturais, enquanto as áreas em vermelho indicam zonas alagadas conforme identificadas pelo modelo.

7

8 9



Figura 2. Mapa de prioridades.

Os resultados quantitativos evidenciaram uma disparidade significativa entre a área classificada pelo MNDWI (90.918 pixels) e o polígono oficial (16.824 pixels), com o modelo divergindo da área de risco em 81,5%. Essa diferença sugere que o MNDWI, devido à sua sensibilidade espectral, capturou extensões alagadas não contempladas no mapeamento tradicional. A relação de 5,4:1 entre as áreas ressalta a necessidade de revisão dos critérios de delimitação de risco.

O sistema desenvolvido mostrou-se eficaz na análise de suscetibilidade a inundações. Embora os resultados sejam promissores no Rio Grande do Sul, testes adicionais em outras áreas validarão sua escalabilidade de reaplicação. O sistema difere de métodos tradicionais, como, por exemplo, o ISMFI - Índice de Suscetibilidade do Meio Físico a Inundações (SMAC), devido à sua abordagem open-source.

5. Conclusão

O sistema mostrou ser promissor, pois os resultados preliminares indicam que o modelo é capaz de apontar regiões de risco. A integração entre dados geoespaciais e censitários pos-



Figura 3. Comparação entre área de risco do sistema e imagem de satélite.



Figura 4. Comparação entre a inundação observada (esquerda) e a classificação do modelo (direita).

sibilitou uma análise mais detalhada das áreas suscetíveis, permitindo uma visualização clara dos fatores que contribuem para a vulnerabilidade a inundações. Assim, a solução apresentada representa um avanço significativo na identificação de áreas suscetíveis a inundações, promovendo uma abordagem baseada em dados para a gestão de riscos ambientais. Futuras melhorias podem incluir a incorporação de previsões meteorológicas em tempo real, rasterização das imagens obtidas pelo modelo e modelos preditivos para aperfeiçoar a análise e antecipação de cenários de risco.

Referências

- Borges, K. A., Davis, C. A., and Laender, A. H. F. (2001). Omt-g: An object-oriented data model for geographic applications. *GeoInformatica*, 5:221–260.
- Centre, J. R. (2020). Climate change, river flooding and adaptation: Peseta iv project. Technical report, European Commission.
- Farias, A. and Mendonça, F. (2022). Riscos socioambientais de inundação urbana sob a perspectiva do sistema ambiental urbano. *Sociedade Natureza*, 34:e63717.
- Goerl, R. F., Kobiyama, M., and Pellerin, J. R. G. M. (2012). Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de rio negrinho sc. *Boletim de Geografia*, 1(1):59–73.
- Guimarães, R. M., Mazoto, M. L., Martins, R. N., do Carmo, C. N., and Asmus, C. I. F. (2014). Construção e validação de um índice de vulnerabilidade socioambiental para a vigilância e gestão de desastres naturais no estado do rio de janeiro, brasil. *Ciência Saúde Coletiva*, 19(10):4157–4165.