ABORDAGENS SIMPLIFICADAS PARA MAPEAMENTO DE ZONAS URBANAS INUNDÁVEIS EM EVENTOS EXTREMOS: PORTO ALEGRE EM MAIO DE 2024

Arthur da Fontoura Tschiedel [1]; Leonardo Laipelt [2]; Matheus Sampaio[3]; Luciana da Silva Mieres[4] & Fernando Mainardi Fan[5]

Abstract: In May 2024, Porto Alegre experienced one of the most severe flood events in its history, driven by extreme rainfall exceeding 700 mm in just a few days over the Guaíba River basin, which drains the metropolitan area. The event caused the Guaíba River to reach a record level of 5.37 meters—over 2 meters above the city's flood stage—leading to widespread inundation in neighborhoods that were theoretically protected by the urban flood defense system, which partially failed. In response, researchers from the Hydraulic Research Institute (IPH/UFRGS) developed an emergency flood depth mapping tool to support Civil Defense and emergency response agencies. The methodology combined high-resolution LiDAR-based topographic data with real-time water level observations from river gauge stations. Flood inundation scenarios were generated for different water stages of the Guaíba, considering water surface slope gradients estimated from preliminary HEC-RAS hydrodynamic simulations. The main outcome was a dynamic flood depth map representing potential inundation in the event of a total protection system failure, made available on an online platform. Validation showed strong agreement between the mapped flood extents and observed inundated areas during the event. This experience highlights the critical importance for large urban centers to maintain detailed topographic datasets and pre-established flood scenario analyses. This paper documents, for the first time, the emergency flood mapping efforts undertaken during the 2024 Porto Alegre flood event, including the methodology applied and key results achieved to support disaster risk management and emergency response.

Resumo: Em maio de 2024, Porto Alegre enfrentou uma das maiores cheias de sua história, causada por chuvas extremas que superaram 700 mm em poucos dias na bacia hidrográfica do Guaíba, que banha a capital gaúcha. O evento fez com que o nível do Guaíba atingisse 5,37 metros, mais de 2 metros acima da cota de inundação do centro da cidade, o que, devido a falhas nos sistemas de proteção, resultou em inundações em bairros que teoricamente estariam protegidos. Diante desse cenário, pesquisadores do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS) desenvolveram, de forma emergencial, um mapeamento de profundidades para subsidiar ações da Defesa Civil e de órgãos de resgate, aqui apresentado. A metodologia utilizou dados topográficos de alta resolução obtidos por LiDAR e informações de estações fluviométricas. Foram gerados cenários de inundação para

1 Waterflow Engenharia, Faculdade Dom Bosco, email arthur.tschiedel@gmail.com
2 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av Bento Gonçalves, 9500, email leolaipelt@gmail.com
3 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av Bento Gonçalves, 9500, email matheussampaiomedeiros@gmail.com
4 Sec. de Planejamento, Governança e Gestão do RS (SPGG-RS). Porto Alegre, RS - mieres.academico@gmail.com
5 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av Bento Gonçalves, 9500, email fernando.fan@ufrgs.br

diferentes níveis do Guaíba, considerando a declividade da lâmina d'água estimada a partir de simulações realizadas no HEC-RAS. A principal entrega foi um mapa dinâmico de profundidade potencial em caso de colapso do sistema de proteção, disponibilizado em plataforma online. A validação dos resultados demonstrou boa aderência às áreas efetivamente inundadas durante o evento. A experiência reforça a importância de grandes centros urbanos possuírem dados topográficos detalhados e estudos prévios de cenários de cheias. O presente trabalha documenta, pela primeira vez, os esforços realizados na elaboração do mapeamento de forma emergencial, a metodologia utilizada, e alguns dos resultados alcançados com esta atividade.

Palavras-Chave – Cheia de 2024, Mapeamento de Áreas Inundadas, Mapeamento Emergencial

1 INTRODUÇÃO

Em maio de 2024, o estado do Rio Grande do Sul vivenciou um dos maiores eventos hidrológicos já registrados. A cheia que afetou principalmente a bacia do Guaíba e Laguna dos Patos, foi consequência de uma combinação de fatores meteorológicos compostos por bloqueios atmosféricos e formação de sistemas convectivos de mesoescala (Reboita et al., 2024; Marengo et al., 2024). Esses sistemas resultaram em chuvas intensas com uma grande distribuição espacial. Entre os dias 28 de abril e 2 de maio, os acumulados ultrapassaram 700 mm em diversas áreas da bacia, especialmente na transição entre o planalto e a planície (Collischonn et al., 2024). Esse grande volume de chuva gerou cheias em diversos rios do estado. Os níveis dos rios Jacuí, Taquari, Caí e Sinos subiram de forma acelerada. Na região do Vale do Taquari os níveis chegaram na ordem dos 20 metros (Collischonn et al., 2025) superando recordes históricos (Moraes et al., 2024).

No dia 5 de maio de 2024, as águas que desciam da região serrana do Estado, principalmente vindas do Vale do Taquari, chegaram com maior volume na região metropolitana de Porto Alegre. Essa combinação de escoamento fez com que o Guaíba atingisse uma cota nunca antes observada de 5,37 metros (Collischonn et al., 2025; Germano et al., 2024). A cheia teve duração prolongada e um segundo pico significativo foi registrado em 14 de maio, mantendo os níveis do Guaíba acima da cota de inundação por cerca de um mês.

Diante da iminência da cheia, previsões hidrológicas realizadas por pesquisadores do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS) indicavam cotas acima dos 5 metros na região de Porto Alegre (GZH, 2024; Sampaio Medeiros, 2025). Apesar do sistema de proteção da cidade estar projetado para a cota 6 metros, a preocupação era que o sistema de contenção de cheias da cidade entrasse em colapso. Por isso, foram gerados mapas de profundidades, considerando a cota 5,5 metros sob o cenário de falha total do sistema de defesa contra inundações da cidade. Os mapas produzidos tiveram como principal objetivo subsidiar a tomada de decisão por parte da Defesa Civil, Corpo de Bombeiros e outros agentes, permitindo a identificação prévia de áreas de maior risco e de profundidade estimada nas ruas da cidade.

Apesar do nível máximo não ter superado a cota de projeto de 6 metros do sistema de proteção contra cheias da cidade, ocorreram falhas significativas nas comportas e casas de bombas, fazendo com que a água entrasse para a cidade, inundando bairros que teoricamente estariam protegidos (Malinoski et al., 2024). A gravidade do evento e a rapidez com que as inundações se espalharam evidenciaram a importância de mapear com antecedência os potenciais áreas inundáveis em centros urbanos, como Porto Alegre. O mapeamento que inicialmente foi concebido para apoiar a identificação de zonas de risco em caso de falha dos sistemas de proteção, ao fim da cheia se tornou útil para a navegação em áreas inundadas e para a estimativa de profundidades em ações de resgate.

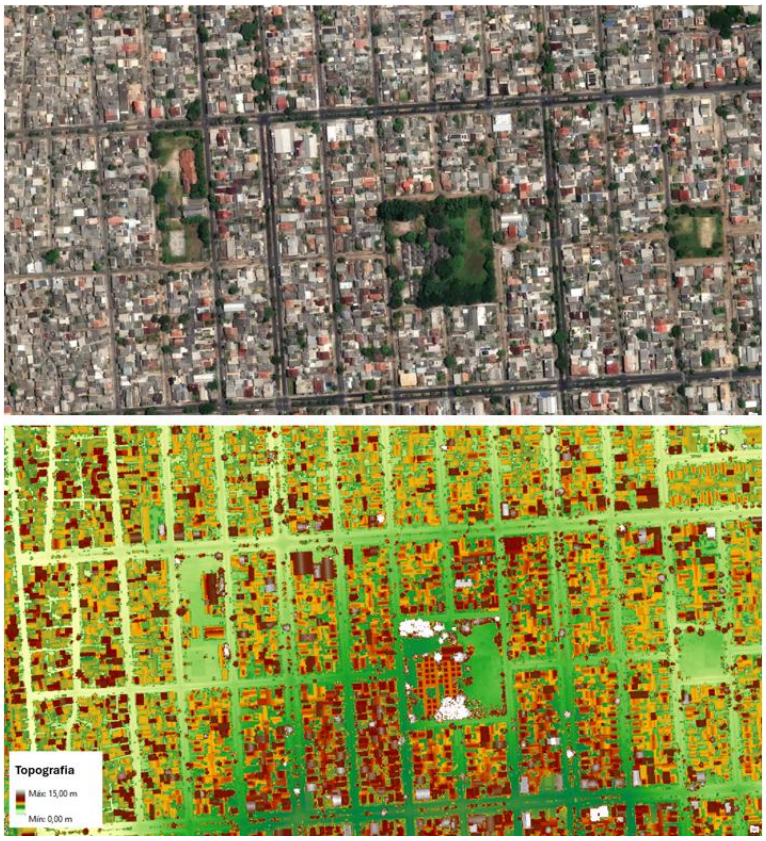
Essa experiência reforça a necessidade de que grandes metrópoles contem com dados topográficos de alta resolução, redes densas de monitoramento e sistemas de previsão integrados a planos de ação e protocolos de respostas. O presente trabalha documenta, pela primeira vez, os esforços realizados na elaboração do mapeamento de forma emergencial, a metodologia utilizada, e alguns dos resultados alcançados com esta atividade.

2 DADOS DE ENTRADA

Para identificar as áreas passíveis de inundação na cidade de Porto Alegre, em função do aumento do nível do Guaíba, diversos dados de entrada foram utilizados e compatibilizados. Inicialmente, cabe destacar que o *dataset* topográfico é de extrema relevância, uma vez que só é possível a identificação de áreas inundáveis em escala de quadra quando os dados topográficos permitem essa representação.

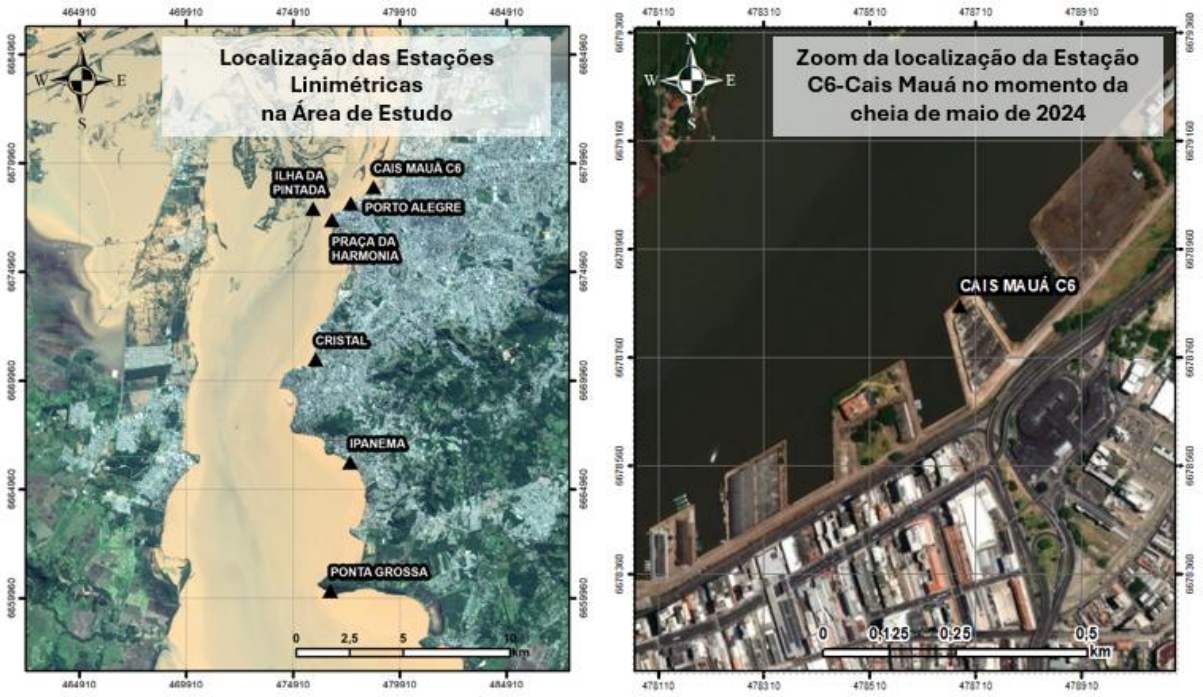
Neste contexto, para representar a topografia da cidade, se fez uso do levantamento topográfico realizado em Porto Alegre (Zanardi et al., 2013) por LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Segundo o referido autor, os voos para execução desse dado topográfico foram executados em agosto de 2010, representando, portanto, a topografia da cidade desse período. Os parâmetros de voo e a configuração dos scanners utilizados foram definidos de forma a propiciar uma densidade mínima de 2,2 pontos por m², dando origem a um Modelo Digital de Terreno e a um Modelo Digital de Superfície com erro vertical médio de 7,5 cm e com uma resolução espacial de 1,00 metro que permite a representação da topografia em escala muito adequada, conforme apresentado na Figura 1 para uma área de Porto Alegre atingida pela cheia.

Figura 1 – Representação topográfica do *dataset* utilizado



Uma vez escolhida a informação topográfico que seria utilizada para identificação de áreas inundáveis, houve a necessidade de se compatibilizar esses dados com os níveis de cheia monitorados por estações fluviométricas utilizadas para este fim, na região do Guaíba. Diversas eram as estações com dados previamente disponíveis pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, conforme pode ser observado na composição da Figura **2**, à época de enchente. Entretanto, das estações localizadas mais ao centro de Porto Alegre, apenas a estação de código 87450004 - Cais Mauá C6 (Figura **3**) estava operando com dados telemétricos no início e durante boa parte da cheia, possibilitando-se dessa forma o acompanhamento da evolução do nível ao longo do tempo. Portanto, optou-se pelo uso inicial dos seus dados para a geração das manchas de inundação[6].

Figura 2 – Rede de Estações de Nível com dados disponíveis



Conforme apresentado em Germano et al. (2024), esta estação linimétrica, que contava com dados desde julho de 2014, tem o valor de 300 cm arbitrado como sendo equivalente à cota do piso do cais, que apresenta, em geral, pouca variação altimétrica. Visando-se desse modo uma compatibilização inicial entre o mapeamento topográfico utilizado e os níveis medidos pela estação 87450004, procurou-se corrigir as cotas do MDS de Porto Alegre a partir da soma de um Δz que resultasse em cotas do platô do Cais Mauá, (no local da estação 87540004), próximas ao valor de 3,0 metros. O valor somado (+0,50 metros) permitiu a compatibilização entre as duas referências geográficas de forma simplificada e célere, conforme visualizado na Figura **4**. Nesta figura também é apresentado o perfil longitudinal do segmento (a, a') para as duas informações topográficas: O original e o corrigido. Pode-se observar nesse contexto que a partir do somatório de 0,50 metros verticais em todo o MDS de Porto Alegre foi possível a compatibilização de cotas entre estes dois

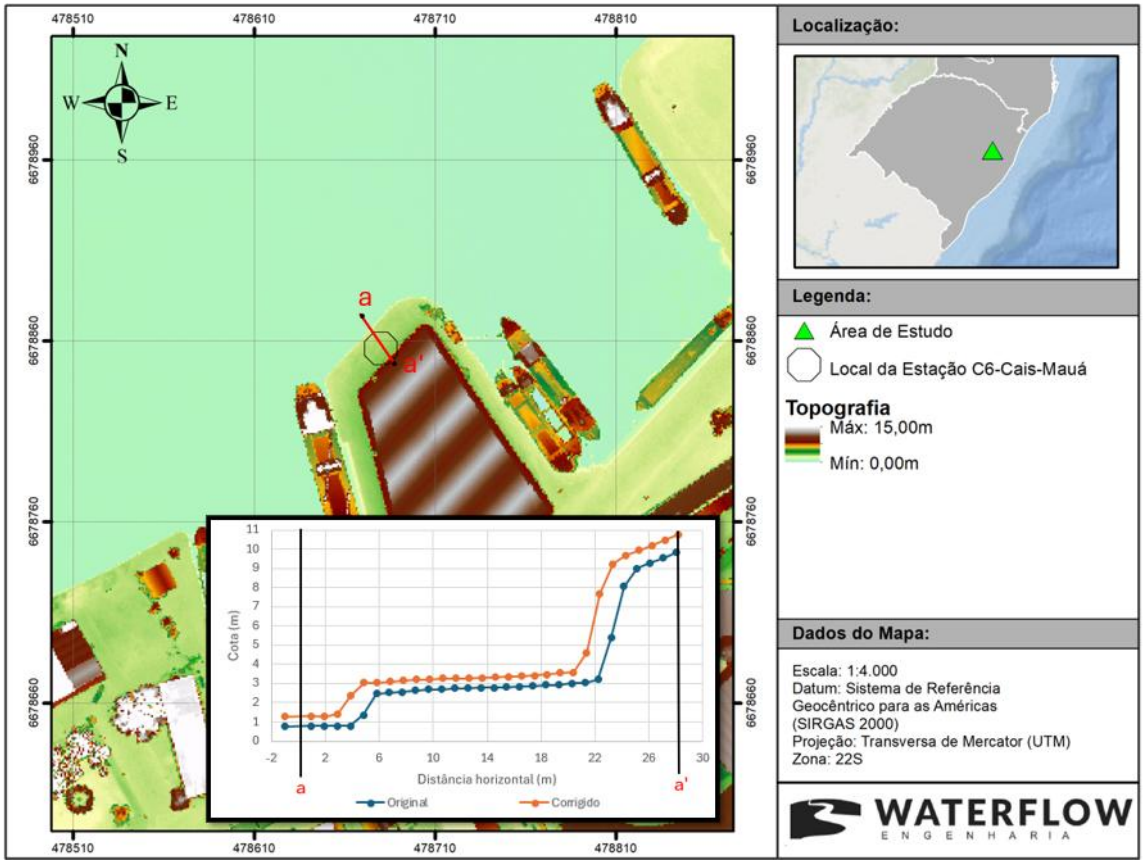
[6] Ressalta-se que ao longo do evento esta estação esteve inoperante a partir de um dado momento, e o monitoramento de nível do Guaíba passou a ser realizado a partir do uso de dados de outras estações como a SPH4 Tidesat.

produtos, considerando-se que a cota do platô da região da estação Cais Mauá C6 corresponde ao nível de 3,0 metros da estação 87540004.

Figura 3 – Fotos da Estação C6-Cais-Mauá em diferentes momentos da cheia de maio de 2024.



Figura 4 – Correção da Topografia local visando compatibilização do Platô para a cota de 3,0 metros



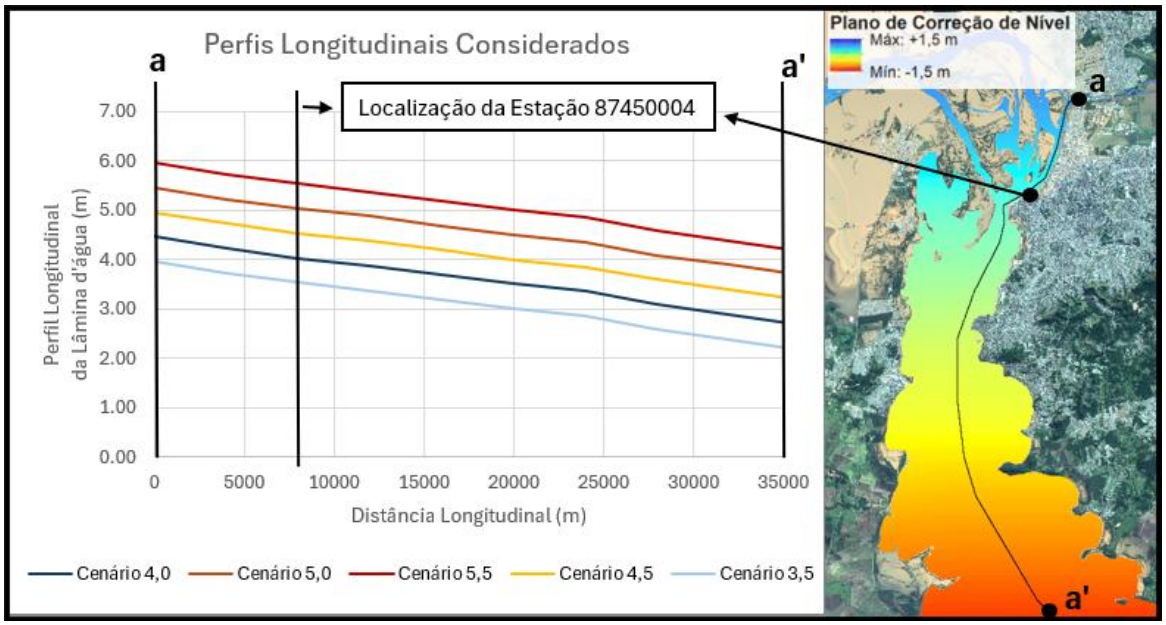
3 METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia utilizada para a identificação de áreas inundáveis se fundamentou basicamente na reclassificação do arquivo matricial representativo da topografia corrigida a partir de cenários pré-definidos associados a planos de inundação.

Esses planos de inundação foram constituídos a partir da espacialização dos níveis adotados para diferentes cenários de avaliação (3,5; 4,0; 4,5; 5,0 e 5,5 metros na estação 87450004), considerando-se uma declividade de lâmina d'água estimada para o Guaíba durante o evento de cheia.

A consideração da declividade da lâmina d'água que tipicamente ocorre no Guaíba em momentos de cheia, foi determinada, à época do estudo, de modo conservador, uma vez que não havia informações consistentes a respeito da declividade potencial. Nesse contexto, foi adotada uma declividade média de lâmina d'água da ordem de +5,5 cm/km a montante da região central de Porto Alegre e uma declividade média de -5,0 cm/km para jusante da região central (variando-se em alguns pontos). Essas declividades foram definidas a partir do uso de simulações hidrodinâmicas preliminares desenvolvidas no Hec-Ras 6.5 (USACE, 2024). Esse plano de correção de nível é apresentado na Figura 5, tendo sido aplicado de modo igual para todos os cenários simulados.

Figura 5 – Plano de Correção de Nível adotado para os cenários simulados



Neste contexto, cabe aqui destacar que as estimativas de declividade de lâmina d'água definidas para estimar as manchas de inundação durante o evento foram, em parte, de ordem de grandeza similar às observadas posteriormente a partir do uso de dados do satélite SWOT (Laipelt et al., 2025; Silveira et al., 2024). No estudo apresentado por Silveira et al. (2024), foram identificadas 3 zonas principais do Guaíba com diferentes declividades médias apresentadas durante a cheia. Estas declividades variaram de 15 cm/km para a região do delta do Jacuí, 5,6 cm/km para a região central de Porto Alegre e 2,3 cm/km para a Zona Sul. Desse modo, observa-se que as estimativas preliminarmente realizadas quanto à declividade da lâmina d'água foram compatíveis com o posteriormente observado principalmente para a região central de Porto Alegre.

Uma vez obtidos estes planos de inundação com respectivas cotas (que consideravam cenários de nível e declividade de lâmina d'água estimada), partiu-se para identificação das áreas inundáveis

na área de interesse a partir da subtração entre as cotas estimadas no plano de inundação e as cotas da cidade estimadas pelo Modelo Digital de Terreno, conforme a Equação 01. Nessa equação, "Prof" é a profundidade calculada para cada pixel (em metros), "WSE" é a elevação da lâmina d'água estimada para o local, para os cenários definidos, e "CT" é a cota do terreno, obtida a partir do MDS utilizado.

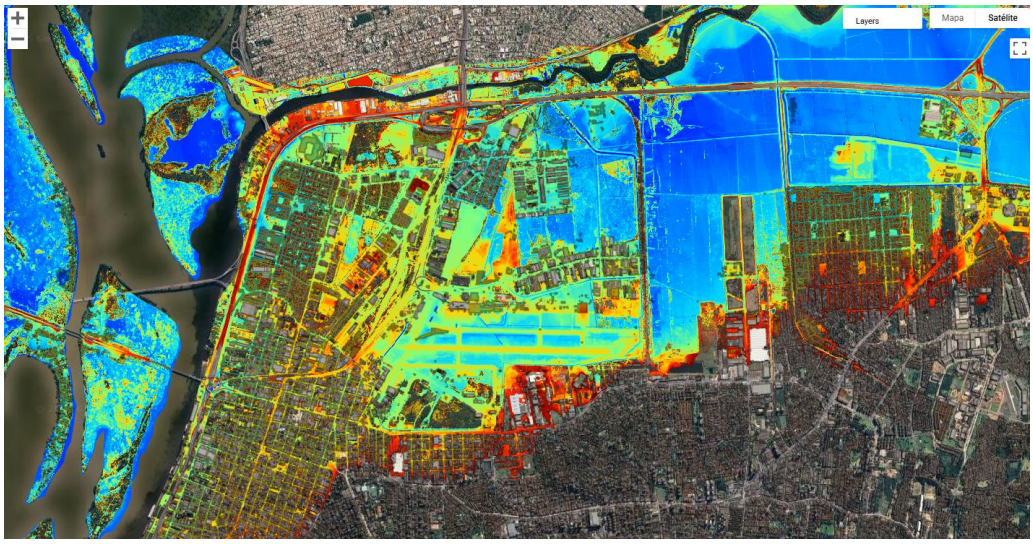
$$Prof = WSE - CT \quad (1)$$

Após a aplicação da Equação 1 foram excluídos os valores negativos obtidos (associados a cotas de terreno superiores às cotas de inundação calculadas), considerando-se os valores positivos como estimativas de profundidades para as avenidas e ruas da cidade.

4 RESULTADOS OBTIDOS

O principal resultado obtido a partir do desenvolvimento deste trabalho foi um mapa dinâmico de profundidades máximas que poderiam ser observadas em Porto Alegre, em situação de falha total dos sistemas de proteção (o que veio a ocorrer em partes da cidade) considerando-se a existência de uma cheia associada ao nível de 5,5 metros na estação 87450004. Na Figura **6** é apresentado com detalhes a região norte da cidade, que foi severamente impactada pela inundação devido à falha dos sistemas de proteção. Produtos como este foram disponibilizados em plataforma *online*, acessível a partir do link https://shorturl.at/dJL13. De modo similar, na Figura **7** é demonstrada a mesma área apresentada na Figura **1**, com as profundidades estimadas.

Figura 6 – Mapa de Profundidades da cidade de Porto Alegre para o Cenário de 5,5 metros de nível do Guaíba



Na Figura **7** é apresentada uma composição de imagens para duas áreas distintas de Porto Alegre com o intuito de ilustrar os resultados obtidos a partir do mapeamento realizado em contraste com o registro de áreas inundadas para o dia 02/05/2024, disponíveis em alta resolução na plataforma Google Earth. Neste contexto, destacam-se, a partir da análise visual, resultados compatíveis com o observado por imagem de satélite, embora os cenários reais e preditos tenham sido ligeiramente diferentes tanto quanto ao nível do Guaíba (5,5 metros no cenário de predição e 5,37 metros no cenário real), quanto à declividade da lâmina d'água real e observada. De modo similar, na Figura **8** também são apresentadas duas outras regiões da cidade, mostrando-se também áreas de acerto das predições e áreas que foram apresentadas como passíveis de inundação e que na realidade não foram atingidas.

Figura 7 – Mapa de Profundidades para área da zona norte de POA no Cenário de 5,5 metros de nível do Guaíba



Figura 8 – Validação da mancha de inundação projetada em diferentes locais



5 CONCLUSÕES

A identificação de áreas potencialmente inundáveis em cidades e centros urbanos que estão em regiões que se encontram próximas a grandes corpos hídricos é uma ação extremamente necessária, uma vez que auxilia a sociedade na tomada de decisão em caso de desastre, nos mais diversos aspectos. Tanto do ponto de vista do cidadão comum, que consegue identificar se sua área está sob risco de inundação, como do ponto de vista de órgãos de gestão de crise e de resgate durante desastres, o mapeamento preliminar destas áreas permite com que a sociedade de um modo geral tenha maior preparo para lidar com situações adversas previamente mapeadas.

Em geral, a identificação de áreas potencialmente inundáveis é fundamentada em simulações hidrodinâmicas complexas, que muitas vezes requerem dados de entrada indisponíveis em momentos de crise, seja em função da própria forma de obtenção do dado, seja em função do tempo disponível para obtenção de respostas. Além disso, também se destaca que a principal fonte de erro são os modelos digitais de elevação. Os erros tendem a ser minimizados conforme melhor a qualidade da topografia digital.

Em casos como estes, havendo ausência de mapeamentos sistemáticos preliminares (e acurados) na área de desastre, o uso de abordagens simplificadas assertivas para gerar dados relevantes a respeito de áreas que podem ser inundadas pode ser relevante, podendo auxiliar tanto a população como órgãos de gestão de crise e de resgate.

No caso da cidade de Porto Alegre, foi possível a aplicação da abordagem preliminar aqui apresentada, uma vez que havia dados topográficos de alta precisão (capazes de representar de forma satisfatória a topografia em escala de quadra) e também conhecimento da relação existente entre a estação de nível e a topografia da cidade. Foi gerado assim, um mapa online não apenas de “áreas potencialmente inundáveis”, mas um mapa de “profundidades potencialmente atingidas”, podendo-se auxiliar órgãos de resgate, como Corpo de Bombeiros e Defesa Civil na identificação de áreas prioritárias de atuação, bem como auxiliar pessoas na tomada de decisão de sair ou não de suas residências.

Ressalta-se aqui a necessidade premente de grandes centros urbanos que se encontram em regiões propícias a inundações terem dados topográficos precisos e de boa resolução espacial, capazes de representar a topografia em escala de quadra. Além disso, também se destaca a necessidade de existência de estudos preliminares que permitam a identificação de áreas inundadas para diferentes cenários de cheias, associados a protocolos de emergência a serem acionados em caso de crise.

Caso, entretanto, não existam estudos preliminares associados à identificação de áreas inundáveis, o uso de dados topográficos de alta precisão em conjunto com o uso de dados linimétricos de estações fluviométricas, vinculados à topografia da cidade, pode ser uma alternativa de baixo custo temporal que pode gerar dados extremamente relevantes na gestão de crise.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Collischonn, W., Brêda, J. P. L. F., Wongchuig, S., Ruhoff, A., Paiva, R. C. D. D., Fan, F. M., ... & Ramalho, N. (2024). Unprecedented April-May 2024 rainfall in South Brazil sets new record. RBRH, 29, e50.

Collischonn, W., Fan, F., Possantti, I., Dornelles, F., Paiva, R., Sampaio. Matheus, Michel, G., Corrêa, M. F. F., Moraes, S., Marcuzzo, F., Michel, R., Beskow, T., Beskow, S., Fernandes, E., Laipelt, L., Ruhoff, A., Kobiyama, M., Collares, G., Buffon, F., … Allasia, D. (2025). The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520240119

Germano, A. de O., Lamberty, D., Silva, E. D., Buffon, F. T., & Pedrollo, M. C. R. (2024). Avaliação indireta do nível máximo das águas do delta do Rio Jacuí na região central de Porto Alegre, entre as estações Cais Mauá C6 e Usina do Gasômetro, na grande cheia de maio de 2024. https://doi.org/https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24911

GZH. (2024, 2 de maio). Guaíba pode ultrapassar os 5 metros, aponta projeção do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. GZHa. Disponível em: https://gauchazh.clicrbs.com.br/ambiente/noticia/2024/05/guaiba-pode-ultrapassar-os-5-metros-aponta-projecao-do-instituto-de-pesquisas-hidraulicas-da-ufrgs-clvplcxi1019d014aes0o62ev.html

MALINOSKI, André; GONZATTO, Marcelo; LOPES, Rodrigo. A enchente de 24: a história da maior tragédia climática de Porto Alegre. 1 ed. Porto Alegre: BesouroBox, 2024.

Marengo, J. A., Dolif, G., Cuartas, A., Camarinha, P., Gonçcalves, D., Luiz, R., ... & Nobre, C. A. (2024). O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. Estudos Avançados, 38(112), 203-228.

Moraes, S. R., Collischonn, W., Turco, F., Rafael, B., Eckhardt, R., & Alegre, P. (2024). Revisão e consolidação da série histórica dos níveis das cheias do rio Taquari em Lajeado de 1939 a 2023. www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=001199403&loc=2024&l=7818d897802ef3c6.

Reboita, M. S., Mattos, E. V., Capucin, B. C., de Souza, D. O., & de Souza Ferreira, G. W. (2024). A multi-scale analysis of the extreme precipitation in southern Brazil in April/May 2024. Atmosphere, 15(9), 1123.

Sampaio Medeiros, M. Et al., Emergency forecasts for water levels in the Guaíba River during the 2024 unprecedented flood in South Brazil. RBRH. 2025.

ZANARDI, R. P.; SCHNEIDER, A. H.; SALOMONI, T. R.; SALOMONI, C. S.; REISS, M. L. L. Validação da Qualidade do Perfilamento a Laser aerotransportado da cidade de Porto Alegre. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Foz do Iguaçu. 2013.