

## **XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **Sobre como o HAND pode ser aplicado para a determinação de curvas de exposição ao perigo hidrológico no Rio Grande do Sul**

*Iporã Brito Possantti<sup>1</sup>*

**Abstract:** The 2024 floods, one of the largest hydroclimatic disasters in Brazil, highlight the urgency of climate adaptation in Rio Grande do Sul. This study presents a practical method for mapping exposure to hydrological hazards using the HAND (Height Above Nearest Drainage) index, combined with residential address data. The methodology was applied in six municipalities of the Porto Alegre Metropolitan Region, generating exposure curves that summarize the distribution of households in relation to hazard levels. The results revealed distinct hazard patterns and demonstrated that HAND is a replicable and useful indicator at the municipal scale, although it presents limitations inherent to Digital Elevation Models (DEMs). The study reinforces the importance of simple operational tools to guide public policies, such as the predefinition of safe zones and spatial planning aimed at enhancing urban resilience to extreme events.

**Resumo:** As enchentes de 2024, um dos maiores desastres hidroclimáticos no Brasil, destacam a urgência de adaptação climática no Rio Grande do Sul. Este estudo apresenta um método prático para mapear a exposição ao perigo hidrológico usando o índice HAND (Height Above Nearest Drainage), combinado com dados de endereços domiciliares. Aplicou-se a metodologia em seis municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre, gerando curvas de exposição que sintetizam a distribuição dos domicílios em relação ao perigo. Os resultados revelaram padrões distintos de perigo e mostraram que o HAND é um indicador replicável e útil na escala municipal, embora apresente limitações inerentes aos Modelos Digitais de Elevação (MDE). O estudo reforça a importância de ferramentas operacionais simples para orientar políticas públicas, como a designação prévia de zonas seguras e o planejamento territorial voltado à resiliência urbana frente a eventos extremos.

**Palavras-Chave** – inundações, HAND, curva de exposição

## **INTRODUÇÃO**

As enchentes de 2024 representaram um marco sem precedentes na história recente do Rio Grande do Sul, configurando-se como um dos maiores desastres hidroclimáticos já registrados no Brasil (Marengo et al., 2024). Chuvas intensas e persistentes sobre o Planalto Meridional desencadearam inundações rápidas nos vales, inundações prolongadas nas planícies da Depressão Central e na Planície Costeira, afetando diretamente centenas de milhares de pessoas e provocando perdas humanas, deslocamentos em massa e severos danos socioeconômicos (Collischonn et al. 2024; 2025). Este episódio ocorreu na esteira de um El Niño pronunciado, que já havia causado inundações extremas no ano anterior. Assim, a necessidade de adaptação climática, especialmente na escala operacional, tornou-se ainda mais evidente e urgente (ANA, 2025).

---

<sup>1</sup>) Afiliação: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500 - Prédio 44302 - Agronomia, RS, 91501-970

Tanto a mitigação quanto a resposta a eventos extremos requer ações em múltiplas escalas de planejamento e gestão — estratégica, tática e operacional. Contudo, é no município, enquanto unidade de governança, que se concentram as principais ações operacionais. Esse nível de atuação envolve desde a adaptação do zoneamento urbano à realidade geofísica (mitigação), até estratégias específicas de resposta, como a designação antecipada de zonas seguras para realocação de populações afetadas e outras funções críticas. O caso de Porto Alegre, em 2024, ilustrou isso de forma emblemática: a instalação emergencial de um abrigo posteriormente inundado evidenciou a inexistência de planejamento operacional nesse sentido (Sul21, 2024).

Neste contexto, o paradigma que orienta a análise da vulnerabilidade socioambiental é fundamentado na sobreposição entre perigo, exposição e sensibilidade (Turner et al., 2003). O presente estudo foca no mapeamento da exposição ao perigo hidrológico, utilizando como indicador de perigo a altura sobre a drenagem mais próxima — o HAND (*Height Above Nearest Drainage*). Trata-se de um índice topográfico estático, amplamente acessível por meio de Modelos Digitais de Elevação (MDE) globais de alta resolução, o que o torna uma ferramenta prática e replicável na escala operacional. Além disso, a crescente disponibilidade de bases de dados de endereços e edificações potencializa análises mais detalhadas da exposição da sociedade. Assim, este trabalho apresenta uma prova de conceito aplicada a seis municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre, culminando na obtenção de curvas de exposição que sintetizam a distribuição dos domicílios em relação ao perigo, permitindo não apenas a avaliação objetiva das condições atuais, mas também a reflexão sobre estratégias futuras de adaptação climática.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Visão geral do método

A curva de exposição ao perigo hidrológico representa o acúmulo progressivo da dimensão socio-econômica (tais como edificações, domicílios ou habitantes) em função do grau de suscetibilidade natural à inundação. Para uma área de interesse, avalia-se incrementalmente a quantidade de população ou imóveis situados em áreas sucessivamente menos suscetíveis, compondo uma curva que expressa como a ocupação urbana se distribui em relação ao perigo. Curvas contínuas e lineares indicam uma distribuição homogênea, enquanto concavidades revelam concentrações populacionais em zonas de elevada suscetibilidade, seguidas por áreas mais seguras. Já curvas convexas sugerem que a maior parte da cidade ocupa terrenos elevados, com poucos pontos suscetíveis que rapidamente são superados ao longo da distribuição.

Embora a suscetibilidade natural à inundação seja relativamente fixa, determinada pela topografia e hidrologia locais, a exposição é uma variável que pode se alterar conforme mudanças no uso e ocupação do solo, tanto no curto quanto no longo prazo. Assim, a curva de exposição pode ser determinada tanto para situação atual quanto para descrever a evolução histórica da expansão urbana ou projetar cenários futuros, com base em políticas de ordenamento e medidas de segurança. Dessa forma, a curva se consolida como um instrumento estratégico para apoiar a formulação de políticas públicas, nortear ações de adaptação climática e orientar o planejamento territorial voltado à redução de riscos e ao aumento da resiliência urbana.

O estudo de caso consiste na demonstração da metodologia proposta, aplicada a seis municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre, selecionados por apresentarem diferentes características físicas e demográficas. A amostra inclui municípios com população elevada e outros com população muito menor, bem como áreas com terrenos montanhosos e outras predominantemente planas. Essa seleção buscou representar a diversidade da região e ilustrar como

o método pode ser aplicado em diferentes contextos, gerando resultados distintos e adaptados às especificidades locais. Os municípios são: Porto Alegre, Guaíba, Eldorado do Sul, Canoas, São Leopoldo e Igrejinha (este último muito menor e mais montanhoso).

### **Suscetibilidade natural à inundação com HAND**

O *Height Above Nearest Drainage* (HAND) é um Modelo Digital de Elevação (MDE) normalizado, no qual o nível zero corresponde sempre à elevação das margens do curso d'água mais próximo, expressando assim a altura relativa de cada ponto em relação ao rio. Introduzido por Rennó et al. (2008) e aplicado inicialmente por Nobre et al. (2016) no contexto de desastres, esse indicador tem sido utilizado com sucesso na identificação de áreas suscetíveis à inundação. Embora o método apresente incertezas decorrentes do MDE utilizado, ele permite estimar riscos e produzir mapas de suscetibilidade que subsidiam a tomada de decisão em gestão territorial e prevenção de desastres.

Formalmente, o HAND de um ponto no espaço corresponde à diferença entre a sua elevação e a elevação da drenagem ou corpo hídrico mais próximo. Em um MDE, é necessário, primeiro, determinar a célula (píxel) de drenagem associada a cada célula do modelo, identificando a bacia de contribuição correspondente. Em seguida, calcula-se a elevação mínima dessa bacia, e o HAND é obtido como a diferença entre a elevação pontual e esse valor mínimo do grupo local. Assim, para cada microbacia, o modelo expressa a altura relativa de cada píxel em relação ao ponto mais baixo do seu domínio, permitindo representar a elevação acima do curso hídrico de forma contínua no espaço. O resultado é um modelo espacial que expressa, em cada ponto, a elevação relativa ao rio (ou lago), permitindo identificar a suscetibilidade relativa de inundação com base apenas na topografia.

Neste trabalho, a derivação do HAND foi realizada em três etapas principais. O Modelo Digital de Elevação utilizado foi o ANADEM, desenvolvido por Laipelt et al. (2024), e disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2024). Inicialmente, esse modelo foi corrigido com o preenchimento de depressões espúrias utilizando o algoritmo de Wang e Liu (2006), implementado via pacote SAGA no QGIS. Em seguida, a rede de drenagem foi definida a partir da base oficial fornecida pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente (Rio Grande do Sul, 2024), utilizada como forçante para garantir a coerência hidrográfica nas áreas planas, especialmente na representação de grandes rios e corpos hídricos relevantes, como o Lago Guaíba. A delimitação considerou um limiar de área de contribuição de 100 km<sup>2</sup> para definição da drenagem. Por fim, o cálculo do HAND foi realizado com o plugin PCRaster no QGIS, determinando a diferença de elevação entre cada célula e a célula de drenagem mais próxima ao longo do caminho de fluxo, resultando em um modelo raster que expressa a altura relativa em relação ao curso d'água.

### **Informações demográficas**

As informações sobre os elementos de exposição foram obtidas a partir de dois tipos principais: os domicílios e a população residente, ou seja, os habitantes desses domicílios. O dado base utilizado foi o conjunto de pontos de endereços do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE), geoespacializados e integrados com os setores censitários das malhas do Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2024; IBGE, 2024).

Foi então realizada uma distribuição proporcional da população residente: com base na população total e no número de domicílios de cada setor censitário, foi calculada a média de habitantes por domicílio, e esse valor foi atribuído a cada ponto de endereço, efetuando um *downscaling* dos dados de habitantes para o nível de pontos domiciliares. Além disso, cada ponto

foi enriquecido com a informação sobre a inundação ocorrida no desastre de 2024, a partir da interseção geoespacial com a mancha de inundação divulgada por Possantti et al. (2024). Todo o processamento foi realizado com as ferramentas convencionais do QGIS, por meio de manipulações tabulares e operações de geoprocessamento.

### **Curvas de exposição ao perigo**

Para determinar as curvas de exposição ao perigo hidrológico de cada município da Região Metropolitana de Porto Alegre, foi realizada uma amostragem dos valores do indicador HAND para cada ponto domiciliar. Essa informação foi incorporada à tabela de pontos por meio de união espacial, atribuindo a cada domicílio seu respectivo valor de HAND. Em seguida, para cada município, os domicílios foram ordenados em ordem crescente de HAND, que funciona como um indicador inverso de suscetibilidade — quanto maior o HAND, menor a suscetibilidade natural à inundação. Com esse ordenamento, foi calculada a soma acumulada dos domicílios e habitantes e o percentual correspondente de exposição, gerando uma curva inicial que, para garantir maior suavidade e continuidade, foi interpolada linearmente para intervalos regulares de HAND (a cada 25 cm).

Além disso, para cada município, foi calculado o percentual de domicílios atingidos pela inundação de 2024. Com a curva acumulada de exposição, foi realizada uma análise inversa para estimar o valor de HAND efetivo que delimita a população impactada: ou seja, identificou-se o valor de HAND abaixo do qual todos os domicílios ou habitantes foram atingidos pela inundação. Dessa forma, as curvas finais fornecem uma síntese da distribuição espacial da exposição socio-econômica em cada município.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Modelo HAND obtido**

O modelo de HAND foi calculado para a região hidrográfica do Lago Guaíba, com análise mais detalhada nos seis municípios selecionados como prova de conceito (Figura 1). Com limiar de drenagem de 100 km<sup>2</sup>, o modelo representou fielmente as manchas de inundação observadas em 2024, evidenciando a extensa planície do delta do rio Jacuí e áreas planas associadas aos rios dos Sinos, Caí, Jacuí e às margens do Lago Guaíba.

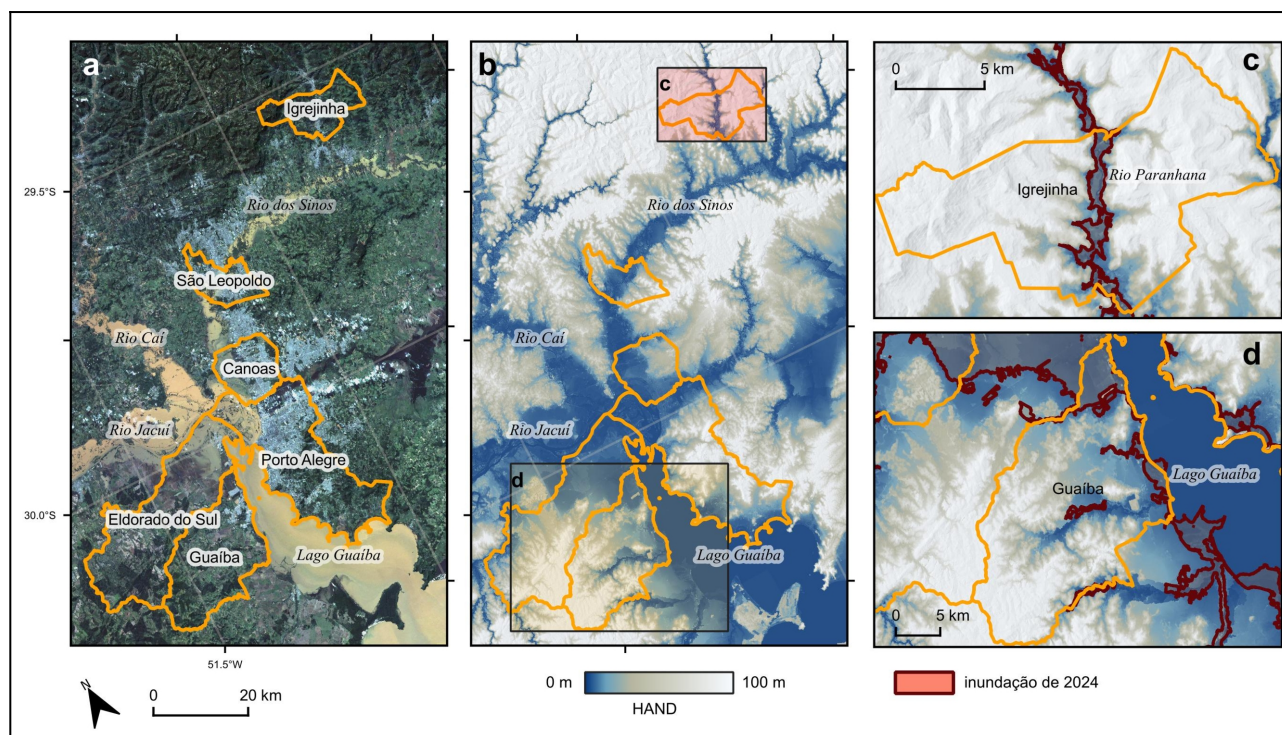
Em Porto Alegre, destacam-se áreas baixas na zona sul, junto ao Lago Guaíba, e na zona norte, nas várzeas do rio Gravataí, além da região central, na foz do arroio Dilúvio. Guaíba apresenta áreas mais baixas ao sul, na bacia do Arroio Passo Fundo, e ao norte, próximas ao Delta do Jacuí. Eldorado do Sul combina várzeas muito planas a leste, onde se concentra a zona urbana, e morros superiores a 100 metros a oeste. Canoas possui várzeas ao sul e oeste, associadas aos principais rios, e áreas mais elevadas ao nordeste. São Leopoldo é atravessado pelo rio dos Sinos, com uma planície fluvial relativamente larga. Já Igrejinha, no vale montanhoso do rio Paranhana, possui margens altas e uma planície fluvial estreita, mas também impactada pelas cheias, com dinâmica mais rápida do que nas planícies amplas do delta.

### **Integração com dados demográficos**

A integração do modelo de HAND com os endereços domiciliares foi aplicada em todos os municípios selecionados, como ilustrado pela área urbana de Guaíba, situada na margem oeste do Lago Guaíba, na Figura 2. No caso de Guaíba, a análise revelou um gradiente altimétrico heterogêneo: ao norte e ao sul predominam planícies associadas, respectivamente, ao Delta do Jacuí



**Figura 1** – Modelo HAND (altura sobre a drenagem mais próxima) no entorno da região Metropolitana de Porto Alegre (RS). Em (a) seis municípios selecionados e a inundação de 2024 (cena Amazônia 1 obtida em 15 de Maio de 2024); (b) modelo HAND derivado para a região com limiar de drenagem de 100 km<sup>2</sup>; destaques para a inunda o de 2024 em Igrejinha (c) e Guaib  (d).



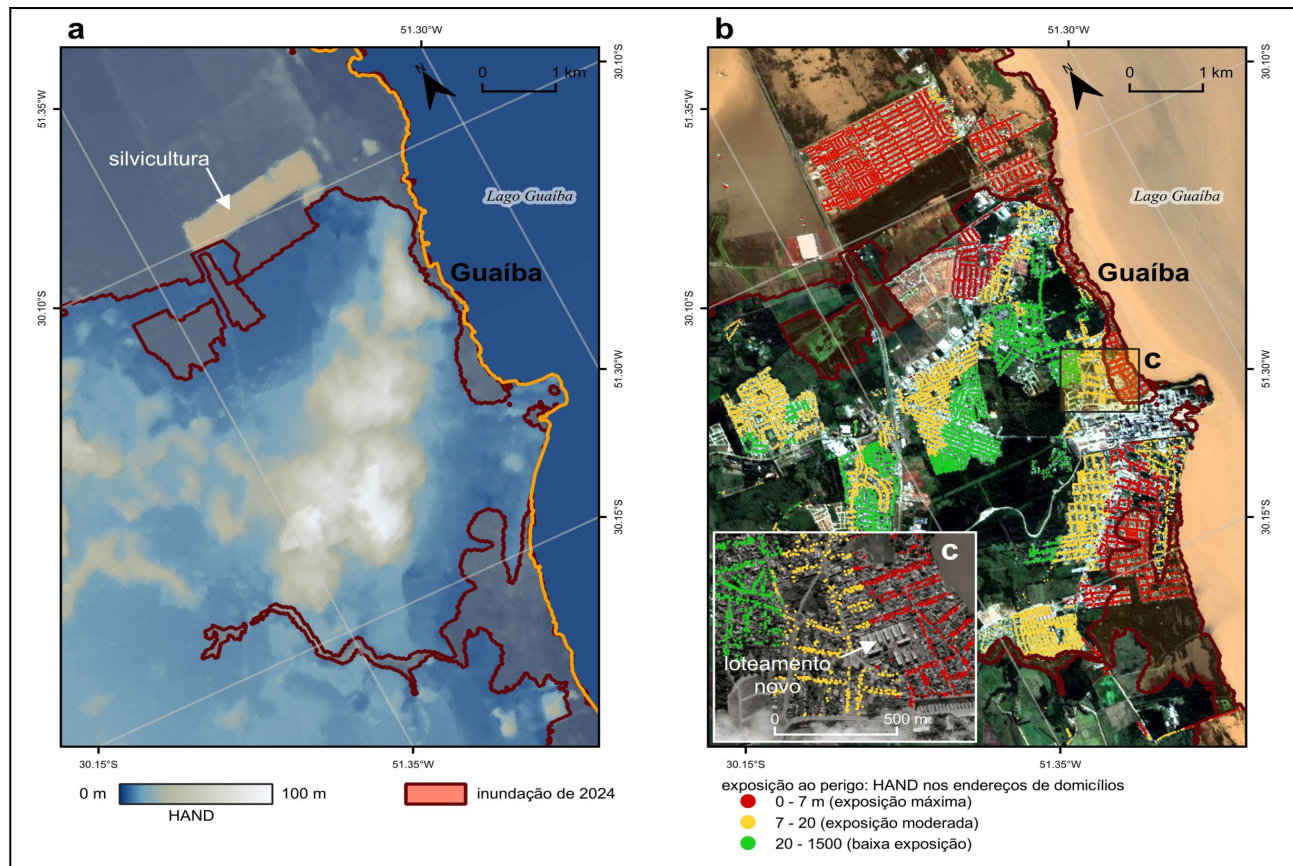
e   foz do Arroio Passo Fundo, enquanto a região central   marcada por um morro onde a eleva o acima da drenagem alcança até 100 metros. A sobreposi o entre os pontos de domicílios e o modelo de HAND permitiu classificá-los em três níveis: máxima exposi o, para domicílios com HAND abaixo de 7 metros e afetados pela inunda o de 2024; moderada, abaixo de 20 metros; e segura, acima desse limite.

Apesar do sucesso na identifica o das áreas mais expostas ao perigo, a análise apresentou limita es decorrentes de incertezas no modelo de eleva o. Em Guaib , por exemplo, ao norte da área urbana, um maciço de silvicultura gerou uma falsa eleva o, pois o sensor não distinguiu a copa das árvores do terreno. Esse erro reforça a necessidade de ajustes e olhar crítico aos dados. Destaca-se ainda, no detalhe “c” da Figura 2, a alta resolu o da análise, que evidencia a rápida transi o de áreas de alta para baixa exposi o. No entanto, verificou-se a ausência de um loteamento recente, possivelmente devido   desatualiza o do cadastro de endereços de 2022, o que pode afetar a precisão dos resultados.

### Curvas de exposi o

As curvas de exposi o foram obtidas acumulando-se os domicílios em fun o dos valores amostrados de HAND. A leitura das curvas pode ser feita, por exemplo, identificando-se que, em Porto Alegre, 75% dos domicílios localizam-se abaixo de 55 metros de altura sobre a drenagem. Esse município teve 9,14% de domicílios afetados pela inunda o de 2024, o que corresponde a um HAND médio de 7,5 metros. Canoas apresentou 40,5% de domicílios atingidos e HAND médio de 6,5 metros, enquanto São Leopoldo teve 42,3% afetados, com HAND médio de 8,25 metros. Em Guaib , 28,4% dos domicílios foram atingidos, com HAND médio de 5,5 metros. Eldorado do Sul,

**Figura 2** – Exemplo da integração entre o modelo HAND (altura sobre a drenagem mais próxima) e as informações de endereços de domicílios na área urbana de Guaíba (RS). Em (a) o modelo HAND e a mancha de inundação de 2024; (b) pontos dos endereços de domicílios (CNEFE/IBGE) classificados em três níveis de HAND; (c) destaque para o gradiente de segurança em uma distância de 500 metros.



com sua área urbana em plena planície do Jacuí, registrou 71% de domicílios afetados, e HAND médio de 6,5 metros. Por fim, Igrejinha, situada em um vale montanhoso mais estreito, teve 28,6% de domicílios atingidos e HAND médio de 7 metros.

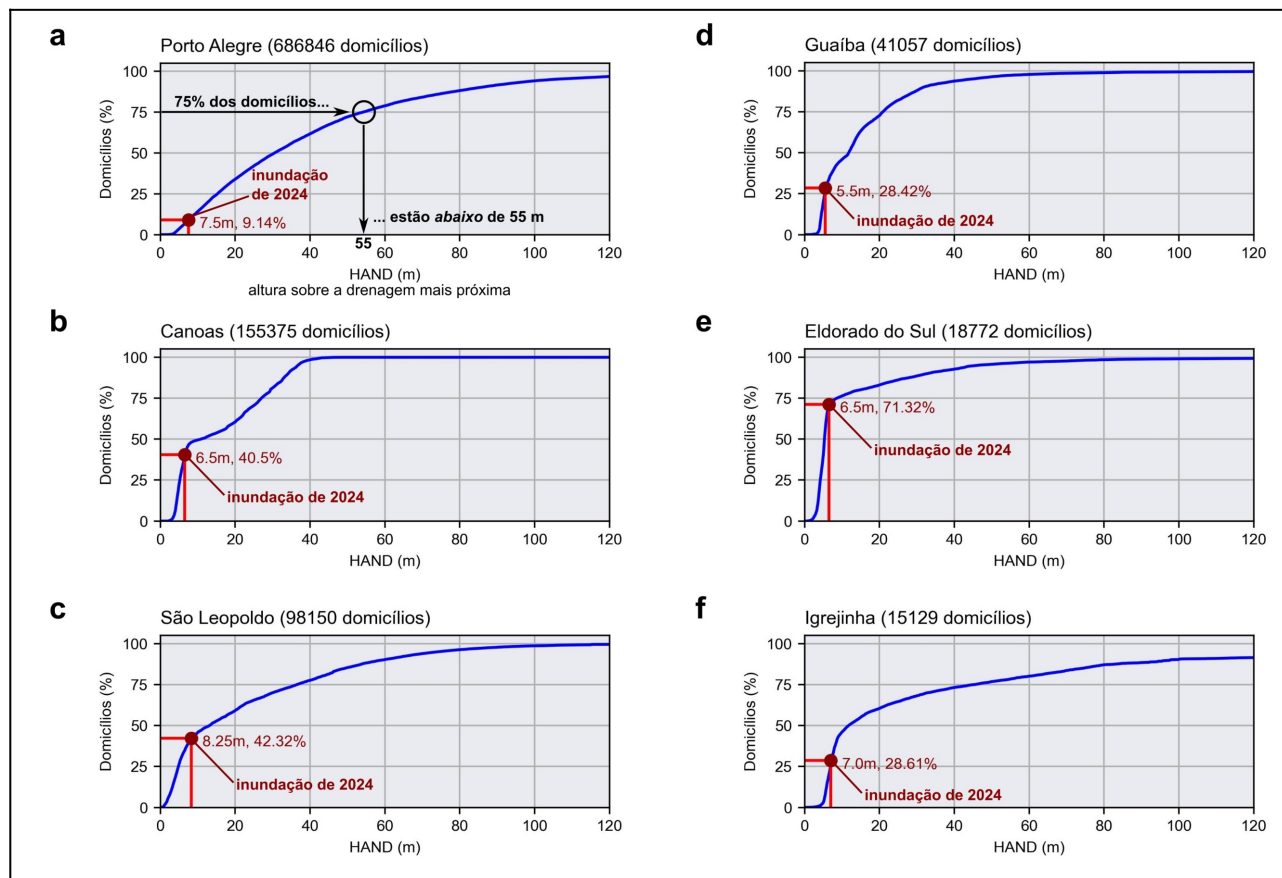
É importante destacar que há três níveis de referência envolvidos nessa temática: (1) a altitude ortométrica, medida em relação ao nível do mar; (2) o HAND, derivado do modelo digital de elevação, que pode conter ruídos devido ao topo da vegetação e das edificações; e (3) o nível linimétrico, medido por réguas que indicam o nível da água em relação a um zero local. Ainda que seja incerta, é possível arriscar uma calibragem entre esses níveis. Por exemplo, municípios que se estendem por áreas extensas acabam por agregar variações hidrodinâmicas internas significativas, dificultando uma correspondência direta e uniforme entre o HAND médio e o nível linimétrico, reforçando o caráter estimativo e analítico do método para fins de gestão de risco.

### Limitações e possíveis melhorias

As principais limitações do método envolvem erros inerentes ao MDE, que podem gerar altitudes artificiais em relação à drenagem mais próxima. Um exemplo foi observado em Guaíba, onde maciços de silvicultura induziram elevações de HAND falsas. Além disso, a qualidade do cadastro domiciliar é crucial: lacunas ou desatualizações podem comprometer a representação da curva de exposição. Essas limitações podem ser mitigadas com melhorias nos dados de entrada,



**Figura 3** – Curvas de exposição ao perigo hidrológico em seis municípios selecionados na Região Metropolitana de Porto Alegre: (a) Porto Alegre; (b) Canoas; (c) São Leopoldo; (d) Guaíba; (e) Eldorado do Sul; e; (f) Igrejinha.



como o refinamento do MDE, filtrando edificações e massas vegetais que distorcem o relevo, e com a atualização do cadastro de domicílios.

Outra possibilidade de avanço metodológico é substituir o HAND por indicadores hidrodinâmicos, com base em simulações hidrológicas que considerem não só a profundidade, mas também a velocidade do escoamento (Alves et al., 2023). Por exemplo, embora a inundação em Guaíba tenha sido predominantemente gradual, em 2024 ocorreu um escoamento rápido na porção norte, devido à formação de um canal. A adoção de simulações hidrodinâmicas ou dados topográficos locais — a partir de LiDAR, já disponível em Porto Alegre —, permitiria obter um mapeamento mais ajustado à dinâmica específica de cada território.

Outro avanço importante seria incorporar a dimensão da vulnerabilidade socioambiental. Aqui, o domicílio foi considerado como elemento espacial de exposição social, mas é possível enriquecer a análise com indicadores que expressem a sensibilidade socioeconômica. Assim, áreas altamente expostas, mas com baixa sensibilidade — por exemplo, famílias com maior renda ou capacidade adaptativa —, podem apresentar vulnerabilidade menor do que áreas com sensibilidade elevada.

## CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma demonstração prática da aplicação do método baseado na altura sobre a drenagem mais próxima (HAND) como indicador de perigo hidrológico, cruzado com dados

de endereços domiciliares, para gerar curvas de exposição em seis municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre. A partir desse cruzamento, foi possível sintetizar a distribuição incremental dos domicílios em relação ao perigo hidrológico, resultando em uma ferramenta gráfica e sintética que captura o estado atual da exposição municipal, como uma espécie de fotografia daquele momento. Essa ferramenta permite estabelecer metas e métricas objetivas para políticas de adaptação climática, como a readequação do uso do solo, além de possibilitar análises retrospectivas que avaliem a evolução da exposição ao longo do tempo.

O método, embora útil, apresenta limitações, sobretudo relacionadas às incertezas dos modelos digitais de elevação globais, afetados por interferências de edificações e vegetação, que podem ser minimizadas mediante o uso de dados locais mais precisos, como levantamentos topográficos com Lidar. Além disso, o indicador topográfico, por ser estático, pode futuramente ser substituído ou complementado por indicadores hidrodinâmicos, capazes de incorporar variáveis como a velocidade do escoamento, oferecendo uma visão mais completa do perigo hidrológico.

Em uma perspectiva mais ampla, este estudo reforça que a escala operacional municipal é a mais crítica tanto para a mitigação — ou seja, a adaptação de longo prazo frente aos eventos extremos — quanto para a resposta imediata quando os desastres já estão em curso. Por isso, é fundamental o desenvolvimento e a disseminação de métodos simples, práticos e replicáveis, que possam apoiar as administrações locais na tomada de decisões mais seguras, evitando, por exemplo, falhas graves como a instalação de abrigos em zonas de alta exposição, como ocorreu em Porto Alegre em 2024. A designação prévia de zonas seguras, incorporada a Planos de Ações Emergenciais (PAE), é um exemplo de aplicação concreta desse tipo de instrumento. Da mesma forma, as curvas de exposição podem se somar a outros instrumentos de gestão no nível estratégico, permitindo o monitoramento contínuo da trajetória das cidades no enfrentamento das mudanças climáticas. Assim, constituem-se em um recurso que não apenas orienta respostas imediatas, mas também fornece subsídios para avaliar, de forma sintética, os avanços ou retrocessos na adaptação territorial e socioambiental da região.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). ANADEM – Modelo Digital de Terreno das Bacias Hidrográficas do Guaíba (Resolução Espacial de 30 metros). [Dataset]. Brasília, DF: ANA, [s.d.]. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). As enchentes no Rio Grande do Sul: lições, desafios e caminhos para um futuro resiliente. Brasília: ANA, 2025. 57 p., il. ISBN 9786588101735. Disponível em: [https://biblioteca.ana.gov.br/sophia\\_web/acervo/detalhe/107692](https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/107692). Acesso em: 23 mai. 2025.
- ALVES, KOBIYAMA E CORSEUIL (2023). Mapeamento de índice de risco de inundação de área a jusante de uma barragem em caso de rompimento. Mercator (Fortaleza), 22, e22004. <https://doi.org/10.4215/rm2023.e22004>
- COLLISCHONN, et al. (2024). Unprecedented April-May 2024 rainfall in South Brazil sets new record. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 29, e50. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.292420240088>



- COLLISCHONN, et al. (2025). The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 30, e1.  
<https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520240119>
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Censo Demográfico do Brasil de 2022. [Dataset]. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em:  
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html> . Acesso em: 10 de ago. 2024.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). CNEFE - Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos. [Dataset]. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em:  
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/38734-cadastro-nacional-de-enderecos-para-fins-estatisticos.html> . Acesso em: 10 ago. 2024.
- LAIPELT et al. (2024). ANADEM: A Digital Terrain Model for South America. *Remote Sensing*, 16. <https://doi.org/10.3390/rs16132321>
- MARENGO et al. (2024). O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. *Estudos Avançados*, 38, 203–228.  
<https://doi.org/10.1590/s0103-4014.202438112.012>
- NOBRE et al. (2011). Height Above the Nearest Drainage - a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology*, 404, 13-29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.051>
- POSSANTTI et al. Banco de dados das cheias na Região Hidrográfica do Lago Guaíba em Maio de 2024 (v.1.4). [Dataset]. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14617475>
- RENNÓ et al. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3469-3481. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.018>
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Base cartográfica 1:25000 do RS. [Dataset]. Porto Alegre: SEMA/RS, [s.d.]. Disponível em: <https://iede.rs.gov.br>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- SUL21. (2024). Pessoas abrigadas no Pepsi on Stage são realocadas por risco de inundação; Prefeitura monta três abrigos [Edição do dia 3 de Maio de 2024]. Sul21.  
<https://sul21.com.br/noticias/geral/2024/05/pessoas-abrigadas-no-pepsi-on-stage-sao-realocadas-por-risco-de-inundacao-prefeitura-monta-tres-abrigos>
- TURNER et al. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 8074-8079.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- WANG & LIU. (2006). An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. *International Journal of Geographical Information Science*, 20, 193-213.  
<https://doi.org/10.1080/13658810500433453>

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece a Bióloga Márcia Corrêa e o Engenheiro Ambiental Marcelo Kronbauer pelo incentivo financeiro na produção deste trabalho, como parte de um projeto ambicioso de gestão de desastres na escala municipal no Rio Grande do Sul.