

PRIORIZAÇÃO DE DEMANDAS EM REDES PLUVIAIS URBANAS COM USO DE GIS E MAPEAMENTO MULTICRITÉRIO

*Cristiano N. da Rosa¹ ; Leticia d'Agosto Miguel Fonseca¹; Leonardo Henrique de Camargo¹;
Sophia Victoria Santos¹; Bruna Valeska Delgado Lopes¹; Estevan Christ Machry²; Edgar da Costa
Eifler² & Stanlei Marcelo Martins do Amaral²*

RESUMO – A gestão de redes pluviais urbanas enfrenta o desafio constante de priorizar demandas, para implantação de novos trechos de redes e obras, frequentemente baseada em critérios subjetivos e reativos. Este estudo propõe uma metodologia para a priorização objetiva de intervenções no sistema pluvial, utilizando Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e Mapeamento Multicritério, com aplicação prática no Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Porto Alegre, Brasil. O objetivo principal foi desenvolver uma metodologia que integrasse dados espaciais e sociais para gerar um Índice de Prioridade (IP) robusto. A metodologia envolveu a geocodificação de demandas, análise hidráulica da rede pluvial utilizando a ferramenta Trace Network e um Modelo Digital do Terreno (MDT), e a incorporação de densidades sociais (população, saúde, educação e segurança) em áreas de influência. Os critérios foram normalizados via min-max e ponderados utilizando o Processo Analítico Hierárquico (AHP), com um Coeficiente de Consistência (CR) de 0,035, garantindo a coerência dos pesos atribuídos por especialistas. Os resultados culminaram na classificação das demandas em cinco níveis de prioridade (Muito Baixa a Muito Alta), visualizados espacialmente em um dashboard interativo desenvolvido no ArcGIS Online (AGOL). Conclui-se que a metodologia proposta automatiza e otimiza a tomada de decisão, transformando a gestão de reativa para proativa, com benefícios significativos em eficiência operacional e alocação de recursos.

Palavras-Chave – mapeamento multicritério; redes pluviais; drenagem urbana.

ABSTRACT – The management of urban stormwater networks faces the constant challenge of prioritizing demands for new pipe segments and infrastructure projects, which are often based on subjective and reactive criteria. This study proposes a methodology for the objective prioritization of interventions in the stormwater system using Geographic Information Systems (GIS) and Multicriteria Mapping, with a practical application at the Department of Water and Sewers (DMAE) in Porto Alegre, Brazil. The primary objective was to develop a framework that integrates spatial and social data to generate a robust Priority Index (PI). The methodology involved geocoding demands, conducting hydraulic analysis of the stormwater network using the Trace Network tool and a Digital Terrain Model (DTM), and incorporating social densities (population, health, education, and public safety) within influence areas. Criteria were normalized via min-max scaling and weighted using the Analytic Hierarchy Process (AHP), achieving a Consistency Ratio (CR) of 0.035, ensuring the coherence of expert-assigned weights. The results culminated in the classification of demands into five priority levels (Very Low to Very High), spatially visualized in an interactive dashboard developed in ArcGIS Online (AGOL). It is concluded that the proposed methodology automates and optimizes decision-making, shifting management from a reactive to a proactive approach, with significant benefits in operational efficiency and resource allocation.

Key-words – Multicriteria mapping; Stormwater networks; Urban drainage.

1) Imagem Geossistemas: Rua Itajai, 80 - Condomínio Centro Empresarial Taquari, São José dos Campos - SP, 12.246-858.
cristiano.rosa@img.com.br; lfonseca@img.com.br; leonardo.camargo@img.com.br; sophia.santos@img.com.br; bruna.lopes@img.com.br.
2) Departamento Municipal de Água e Esgoto – Prefeitura de Porto Alegre – RS. estevan.machry@dmae.prefpoa.com.br;
edgar.eifler@dmae.prefpoa.com.br; stanlei@dmae.prefpoa.com.br.

INTRODUÇÃO

A infraestrutura de drenagem urbana é um componente crítico para a resiliência das cidades, desempenhando um papel fundamental na prevenção de inundações, na proteção da saúde pública e na manutenção da qualidade ambiental (Aguiar et al., 2020). No entanto, o crescimento urbano acelerado e a falta de investimentos adequados têm levado à degradação e ao subdimensionamento dessas redes, resultando em um aumento significativo de demandas por manutenção (He et al., 2023). A gestão eficiente dessas demandas é um desafio complexo, especialmente em grandes centros urbanos como Porto Alegre, onde a alocação de recursos limitados exige decisões estratégicas e bem fundamentadas.

Tradicionalmente, a priorização de intervenções em redes pluviais tem sido realizada com base em critérios subjetivos, experiência de campo e, muitas vezes, de forma reativa a eventos críticos ou reclamações da população. Essa abordagem, embora prática em certas circunstâncias, carece de transparência, reprodutibilidade e otimização, podendo levar a uma distribuição ineficiente de recursos e à negligência de áreas com alta vulnerabilidade ou risco potencial (Wu & Abdul-Nour, 2020). A ausência de uma metodologia objetiva e sistemática para a priorização de demandas de manutenção representa uma lacuna significativa na gestão de infraestruturas urbanas.

Nesse contexto, o Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Porto Alegre busca aprimorar seus processos de gestão, migrando de uma abordagem subjetiva para uma baseada em dados e análises espaciais. A integração de Sistemas de Informação Geográfica (GIS) com técnicas de Mapeamento Multicritério, como o Processo Analítico Hierárquico (AHP), oferece uma solução robusta para transformar grandes volumes de dados em informações acionáveis para a tomada de decisão (Bielenki Júnior & Barbassa, 2012). O GIS permite a visualização e análise espacial de dados, enquanto o AHP estrutura problemas complexos de decisão, permitindo a ponderação de múltiplos critérios de forma consistente.

Assim, este estudo tem como objetivo desenvolver uma metodologia GIS-multicritério com AHP para priorizar demandas de planejamento, projetos e obras em redes pluviais urbanas, resultando em um Índice de Prioridade (IP) objetivo e um dashboard interativo. A metodologia visa otimizando a alocação de equipes e recursos, e contribuir para uma gestão mais eficiente e proativa da infraestrutura de drenagem de Porto Alegre.

MATERIAIS E METODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi aplicado à área urbana do município de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A cidade possui uma complexa rede de drenagem pluvial (), gerenciada pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), que abrange 27 sub bacias hidrográficas e áreas com diferentes características urbanísticas e socioeconômicas. A topografia variada e a densidade populacional elevada em algumas regiões tornam a gestão da drenagem um desafio constante, com frequentes demandas por intervenção em sua infraestrutura.

Tabela 1 - Características da rede de drenagem pluvial de Porto Alegre/RS.

Características da rede pluvial	Quantitativos
Bocas de lobo	45.193 Unidades
Poços de visita	89.186 Unidades
Redes de microdrenagem (diâmetro < 1000 mm)	2.752.555,76 m
Redes de macrodrenagem (diâmetro > 1000 mm)	296.403,08 m
Canais abertos	128.718,62 m
Arroios	596.644,24 m
Diques	49.265,30 m
Reservatórios	67 Unidades
Capacidade dos reservatórios de amortecimento	260.490 m ³
Estações de Bombeamento de Águas Pluviais (EBAPs)	23 Unidades

Geocodificação das Demandas

O primeiro passo metodológico consistiu na geocodificação das demandas de planejamento, projetos e obras. Estas, originalmente registradas como endereços textuais no sistema do DMAE, foram convertidas em pontos geográficos utilizando ferramentas de geocodificação do ArcGIS Pro. Para garantir a associação correta das demandas à rede pluvial, foi aplicada uma tolerância de "snap" de 20 metros. Essa tolerância foi definida para acomodar pequenas imprecisões nos dados de endereço ou na localização GPS, assegurando que cada demanda fosse vinculada ao segmento de rede pluvial mais próximo, mesmo que o ponto geocodificado não estivesse exatamente sobre a linha da rede. Este procedimento é crucial para a análise espacial subsequente, pois permite que as demandas sejam tratadas como eventos ocorrendo em pontos específicos da infraestrutura.

Análise de Influência Hidráulica

Para cada ponto de demanda realizou-se uma análise de traçado "upstream" (a montante) na Trace Network. Esta análise identifica todos os segmentos da rede pluvial que contribuem para o ponto da demanda. A partir disso, um buffer de 50 metros é aplicado aos segmentos da rede afetada e tem-se uma área de contribuição para o referido ponto utilizada para computar os endereços afetados pela demanda.

A partir das camadas de curva de nível, recursos hídricos e rede pluvial disponibilizados pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) realizou-se a Modelagem Numérica do Terreno por meio da ferramenta Topo to Raster com resolução de 5 metros. Sobre este modelo foi aplicada a ferramenta de geração de direção de fluxo (D8) e fluxo acumulado. Com os dados advindos do MDT e o ponto de demanda como exutório realizou-se a delimitação automática da bacia de contribuição de cada demanda.

Os resultados dos dois métodos de delimitação da área de contribuição, Trace Network e delimitação automática, foram unificados de modo a apresentar a área consolidada de influência da demanda.

Contagem de Endereços e Densidades Relativas

Dentro da área consolidada de influência de cada demanda, são contados os endereços de instituições separadas nas camadas de Ensino, Saúde, Segurança e residências. Estas camadas foram geradas com a base no arquivo JSON do município de Porto Alegre, referentes ao Censo de 2022 (IBGE), sobre esta base os pontos dos endereços foram filtrados a partir do campo "DSC_ESTABELECIMENTO".

A seguir são apresentadas as expressões SQL utilizadas para filtrar os endereços em cada camada:

- Saúde: `COD_ESPECIE = 5 And (DSC_ESTABELECIMENTO LIKE '%HOSPITAL%' Or DSC_ESTABELECIMENTO LIKE '%POSTO DE SAUDE%' Or DSC_ESTABELECIMENTO LIKE '%UBS%' Or DSC_ESTABELECIMENTO LIKE '%UPA%' Or DSC_ESTABELECIMENTO LIKE '%UNIDADE DE SAUDE%' Or DSC_ESTABELECIMENTO LIKE '%AMBULATORIO%' Or DSC_ESTABELECIMENTO LIKE '%UNIDADE BASICA%' Or DSC_ESTABELECIMENTO LIKE '%SUS%') And (DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%VETERINARIO%' And DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%ODONTO%' And DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%FARMACIA%' And DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%LABORATORIO%' And DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%DISTRIBUIDORA%' And DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%DENTISTA%')`

• Educação: COD_ESPECIE = 4 And (DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%SINDICATO %' And DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%ASSOCIACAO %' And DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%CLUBE %' And DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%FECHADO%')

• Segurança Pública: COD_ESPECIE = 6 And (DSC_ESTABELECIMENTO LIKE '%POLICIA%' Or DSC_ESTABELECIMENTO LIKE '%BRIGADA MILITAR%' Or DSC_ESTABELECIMENTO LIKE '%DELEGACIA%') And (DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%CLUBE%' And DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%SINDICATO%' And DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%ASSOCIACAO%' And DSC_ESTABELECIMENTO NOT LIKE '%CTG%')

Na camada de Residências foram considerados todos os valores do campo “DSC_ESTABELECIMENTO” não utilizados nas camadas de segurança, educação e saúde. Além disso, foram considerados domicílios particulares. A partir destas condições, foi realizada a estimativa populacional de cada endereço dividindo o total de população residente em Porto Alegre – RS (1.332.845 pessoas (IBGE 2022)) pelo total de domicílios na referida cidade (760.780). O resultado disso foi o valor de 2,46 pessoas por residência. Este é o valor considerado para identificar o número de pessoas afetadas por endereço em cada demanda na ferramenta de priorização.

Para cada camada de endereço, é calculada a densidade relativa, que é a contagem de elementos dentro da área de influência dividida pela área total de influência. Isso permite quantificar a exposição de cada demanda a diferentes tipos de ativos.

Sequencialmente os valores de densidade relativa para População, Ensino, Saúde e Segurança são normalizados para uma escala de 1 a 10. A normalização é realizada utilizando a equação 1.

$$N = 1 + (9 \cdot (x - x_{min})) / (x_{max} - x_{min}) \quad (1)$$

Onde: N = valor normalizado; x = valor original da densidade; xmin = menor densidade observada entre todos os pontos de demanda processados; xmax = maior densidade observada entre todos os pontos de demanda processados.

Processo de Hierarquia Analítica (AHP)

Após a normalização, os valores são combinados utilizando os pesos AHP predefinidos para calcular um Índice de Prioridade (IP) para cada demanda. Os pesos atribuídos a cada camada foram

originados a partir das respostas, dos especialistas do DMAE, nos formulários do método Analytic Hierarchy Process — AHP (Processo de Análise Hierárquica) (Saaty e Vargas, 2012).

Sincronização e Aplicativo Web

A última etapa metodológica trata-se da sincronização dos resultados da priorização com o ArcGIS Online (AGOL). Neste processo, após o envio dos dados para o AGOL, a camada de priorização é reclassificada pelo método dos quartis visualizada em um aplicativo web, permitindo que os gestores acessem as informações em tempo real, monitorem o status das demandas e, se necessário, editem atributos ou adicionem novas informações.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise AHP resultou em uma Razão de Consistência (CR) de 0,035. No método AHP, valores de CR inferiores a 0,10 são considerados excelentes, indicando um alto nível de consistência e confiabilidade nos julgamentos paritários que definiram os pesos. Isso confere robustez e validade ao modelo de priorização adotado. Após a definição dos pesos o Índice de Prioridade (IP) foi definido como apresentado na equação 2.

$$IP = (0,045 \cdot P) + (0,271 \cdot E) + (0,573 \cdot SD) + (0,110 \cdot SG) \quad (2)$$

Onde: P = densidade normalizada da quantificação de população; E = densidade normalizada da quantificação de endereços de ensino; SD = densidade normalizada da quantificação de endereços de saúde; SG = densidade normalizada da quantificação de endereços de segurança.

A metodologia resultou na geração de diversas camadas de saída que fornecem uma visão abrangente e objetiva para a priorização de demandas em redes pluviais. As principais camadas de *output* incluem os pontos de demanda geocodificados e priorizados, a rede pluvial afetada por cada demanda e as áreas consolidadas de influência. Cada ponto de demanda é enriquecido com atributos como o Índice de Prioridade (IP) e sua classificação em 5 níveis (Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto, Muito Alto), permitindo uma rápida identificação das áreas críticas (Figura 1).

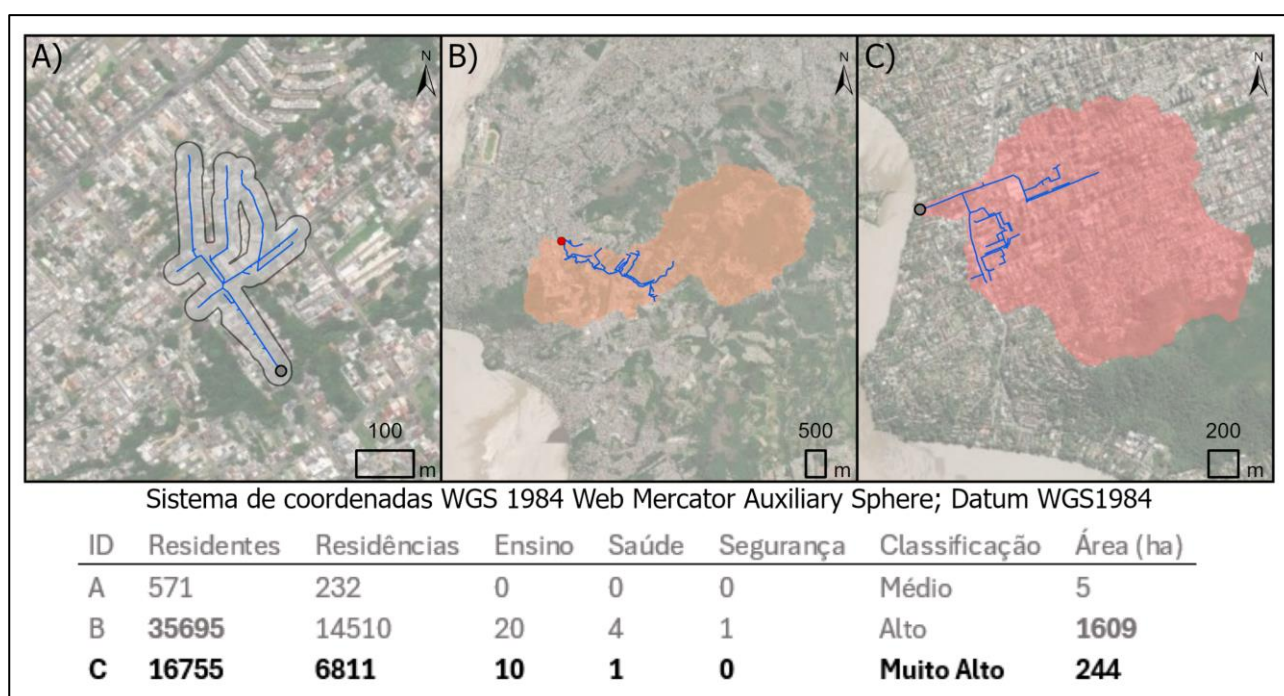


Figura 1 - Resultados da metodologia de priorização de demandas. A) Área de influência consolidada da demanda obtida a partir dos dados do Trace Network. B e C Áreas de influência consolidada da demanda considerado Trace Network e delimitação automática.

Na Figura 1A pode-se observar que a área consolidada da demanda foi predominantemente delimitada a partir do buffer da rede de drenagem, cuja identificação foi realizada a partir do Trace Network. Já nas figuras 1 B e C observa-se a importância de considerar a delimitação automática da bacia hidrográfica no processo, pois nos casos em que ocorrem problemas topológicos de conexão da rede, o processo de identificação da área de influência da demanda é garantida a partir dos dados do MDT.

A normalização dos quantitativos dos endereços fica evidente quando comparamos as áreas consolidadas B e C. Apesar da área B ter os maiores quantitativos de endereços, o que é esperado devido ao tamanho de sua área consolidada, a classificação de prioridade ficou mais alta para a área C onde tem-se uma menor área e proporcionalmente a maior população afetada.

A integração com o ArcGIS Online (AGOL) e o desenvolvimento de um aplicativo web representam um avanço significativo na operacionalização da gestão das demandas. Este sistema permite que as equipes em campo visualizem as demandas priorizadas em seus dispositivos móveis, atualizem o status das intervenções e registrem novas ocorrências, garantindo um fluxo de trabalho dinâmico e baseado em dados. A capacidade de monitoramento em tempo real otimiza o

gerenciamento e o planejamento das obras, reduzindo o tempo de resposta e melhorando a eficiência das operações (Figura 2).

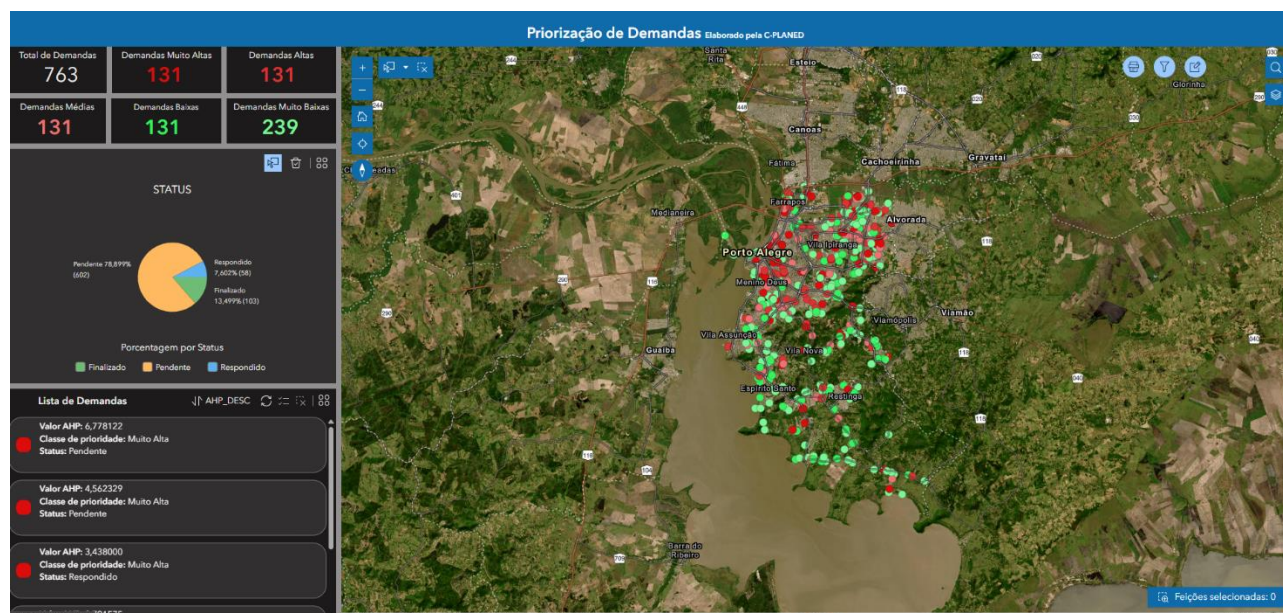


Figura 2 – Painel de apresentação das demandas priorizadas no ArcGIS Online.

A metodologia desenvolvida neste estudo representa um avanço significativo na gestão das demandas de redes pluviais urbanas, ao substituir abordagens subjetivas por um sistema objetivo e baseado em dados. A integração de GIS com o AHP para a criação de um Índice de Prioridade (IP) alinha-se com a crescente tendência de uso de ferramentas de apoio à decisão multicritério em engenharia e gestão ambiental (Aguilar et al., 2020; Wu & Abdul-Nour, 2020). A aplicação em Porto Alegre, com a colaboração do DMAE, demonstra a aplicabilidade prática e a relevância da pesquisa para desafios reais de infraestrutura urbana.

A escolha do AHP para ponderação dos critérios, com um Coeficiente de Consistência (CR) de 0,035, garante que os pesos atribuídos pelos especialistas sejam coerentes, minimizando o viés subjetivo inerente a qualquer processo de decisão humana. Isso contrasta com métodos menos estruturados que podem levar a decisões inconsistentes. Estudos como o de Boral (2025), que utiliza AHP para identificar zonas de risco de alagamento, reforçam a validade do método para problemas de priorização em recursos hídricos. A inclusão de critérios sociais, como densidade populacional, saúde, educação e segurança, é um diferencial importante, pois transcende a análise puramente hidráulica, incorporando a vulnerabilidade social e o impacto humano das falhas na rede, uma dimensão frequentemente negligenciada em modelos tradicionais.

No entanto, o estudo possui algumas limitações que merecem ser discutidas. A dependência da precisão dos dados de entrada é um fator crítico; imprecisões na topologia da rede pluvial, no MDT ou nos dados censitários podem influenciar o IP final. Embora a tolerância de snap de 20 metros e o buffer de 50 metros tenham sido justificados, a sensibilidade a esses parâmetros pode ser explorada em pesquisas futuras. A análise hidráulica, baseada na ferramenta Trace Network e no MDT, fornece uma compreensão do fluxo, mas não substitui uma modelagem hidrodinâmica completa, que poderia simular cenários de inundação e o comportamento da rede sob diferentes condições de chuva. A natureza estática de alguns dados, como a densidade populacional, que muda ao longo do tempo, também pode introduzir um descompasso se as bases de dados não forem atualizadas regularmente.

Outra limitação reside na ausência de uma validação empírica direta do modelo. Embora a metodologia seja logicamente consistente e baseada em dados, a comparação do IP gerado com a ocorrência real de falhas ou com a eficácia das intervenções em áreas de alta prioridade não foi realizada nesta fase. Estudos futuros poderiam envolver a aplicação do modelo por um período e a comparação dos resultados com o desempenho da rede, utilizando métricas como a redução de reclamações ou o tempo de resposta.

Apesar dessas limitações, as implicações práticas da metodologia são substanciais. O dashboard no ArcGIS Online oferece uma plataforma intuitiva e acessível para a tomada de decisão, promovendo a transparência e a colaboração entre as equipes. A capacidade de visualizar espacialmente as prioridades permite uma alocação mais eficiente de recursos humanos e materiais, evitando a ocorrência de problemas críticos. A metodologia é escalável e pode ser adaptada para outras cidades ou tipos de infraestrutura, demonstrando seu potencial para transformar a gestão de ativos urbanos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou a viabilidade e a eficácia de uma metodologia integrada de GIS e Mapeamento Multicritério (AHP) para a priorização objetiva de demandas de planejamento, projetos e obras em redes pluviais urbanas. A aplicação no contexto do DMAE de Porto Alegre resultou na criação de um Índice de Prioridade (IP) robusto e em um dashboard interativo, que capacitam os gestores a tomar decisões mais informadas, eficientes e transparentes. A transição de uma gestão reativa para uma proativa, baseada em dados espaciais e critérios sociais, representa um avanço significativo na otimização da alocação de recursos e na melhoria da resiliência urbana.

Para o futuro, diversas avenidas de pesquisa e desenvolvimento podem ser exploradas. A integração de dados de sensores em tempo real na rede pluvial poderia permitir uma priorização dinâmica, ajustando o IP com base em condições operacionais atuais, como níveis de água ou obstruções. A incorporação de simulações hidrodinâmicas avançadas poderia refinar a análise de risco, prevendo o impacto de eventos extremos e aprimorando a identificação de pontos críticos. Além disso, a inclusão de critérios econômicos, como análise de custo-benefício das intervenções, e a realização de uma validação empírica a longo prazo do modelo em diferentes contextos urbanos, seriam passos importantes para consolidar e expandir a aplicabilidade desta metodologia.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, C.R.D.; NUERNBERG, J.K.; LEONARDI, T.C. (2020) “*Multicriteria GIS-Based Approach in Priority Areas Analysis for Sustainable Urban Drainage Practices: A Case Study of Pato Branco, Brazil*”. Eng, 1, pp. 96-111. <https://doi.org/10.3390/eng1020006>.
- BIELENKI JÚNIOR, C.; BARBASSA, A. P. (2012) “*Geoprocessamento e recursos hídricos*”. São Carlos: EdUFSCar, 2012. 257 p.
- BORAL, E. (2025) “*Identification of urban waterlogging risk zones using Analytical Hierarchy Process (AHP): a case of Agartala city*”. Environmental Monitoring and Assessment, v. 197.
- HE, F.; CHENG, S.; ZHU, J. (2023). “*Enhancing the vulnerability assessment of rainwater pipe networks: an advanced fuzzy Borda combination evaluation approach*”. Buildings, Basel, v. 13, n. 6, p. 1396.
- IBGE. (2022). “*Censo Demográfico*”. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- ITAIR, M.; OWDIA, M.; LHAMIDI, K. (2024). “*GIS-Based Model for Urban Flood Assessment: An Approach to Assess Urban Fragility and Risk*”. In *Sustainable Development and Geospatial Technology*. Org : Sharma, C., Shukla, A.K., Pathak, S., Singh, V.P, ed. Springer, pp. 213–236.
- SAATY, T.L., VARGAS, L.G. (2012). “*How to Make a Decision. In: Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*”. International Series in Operations Research & Management Science, vol 175. Springer, Boston, MA.
- WU, Z.; ABDUL-NOUR, G. (2020). “*Comparison of multi-criteria group decision-making methods for urban sewer network plan selection*”. CivilEng, Basel, v. 1, n. 1, p. 45-64.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) de Porto Alegre e a Imagem Geossistema pela colaboração e parceria no desenvolvimento do presente artigo.