

**Abordagem de Apoio ao Planejamento Urbano Resiliente: Uso de Dados
Geoespaciais e Análise Multicritério para Identificação de Áreas de Intervenção
Prioritária diante das Mudanças Climáticas**

Daniel Augusto de Moura Pereira (Universidade Federal de Campina Grande)

Bruno Pereira Diniz (Universidade Federal de Campina Grande)

Hugo Morais de Alcântara (Universidade Federal de Campina Grande)

1) Introdução

As mudanças climáticas têm provocado transformações significativas na dinâmica urbana, intensificando eventos extremos como alagamentos, deslizamentos, secas e ondas de calor. Tais fenômenos impõem desafios crescentes para o planejamento territorial, exigindo estratégias e decisões capazes de promover resiliência urbana, entendida como a capacidade de absorver impactos e se adaptar a novos contextos climáticos (Rezvani *et al.*, 2023).

Tomar decisões é uma atividade constante e desafiadora em quaisquer tipos de processos e está presente em todos os níveis de uma estrutura organizacional. (Pereira; Diniz, 2024). Dessa forma, a tomada de decisão é considerada a atividade mais importante dentro de um cenário de planejamento, pois envolve diretamente a definição de rumos estratégicos e operacionais (De Moura Pereira *et al.*, 2023).

As decisões são tomadas sempre que há um problema que apresenta mais de uma solução, visto que, mesmo quando a alternativa parece única, ainda há a possibilidade de optar por realizar ou não determinada ação (Gomes; Gomes, 2019).

Nesse contexto, os Métodos de Apoio à Decisão Multicritério (MCDA) têm se mostrado fundamentais para auxiliar gestores em ambientes complexos, permitindo que múltiplas dimensões, econômicas, sociais e técnicas, sejam consideradas simultaneamente no processo de escolha (Diniz *et al.*, 2024). Essa abordagem contribui

para reduzir a subjetividade inerente à tomada de decisão, proporcionando maior transparência, coerência e rastreabilidade das decisões organizacionais (De Moura Pereira et al., 2023).

Nesse cenário, o uso de dados geoespaciais possibilita análises espaciais detalhadas sobre vulnerabilidades ambientais e sociais. Esses dados, aliados a técnicas de MCDA, tornam-se ferramentas poderosas para apoiar decisões complexas em contextos de incerteza, permitindo integrar critérios ambientais, sociais e econômicos na priorização de áreas de intervenção.

Estudos recentes, como o de Seleguim et al. (2024), reforça a necessidade de metodologias integradas que incorporem dados espaciais e critérios multidimensionais para enfrentar os impactos das mudanças climáticas em cidades brasileiras.

Assim, este trabalho busca propor uma abordagem para o planejamento urbano resiliente, integrando dados geoespaciais e MCDA como suporte à identificação e hierarquização de áreas prioritárias de intervenção frente às mudanças climáticas.

2) Objetivo Geral e Específicos

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma abordagem, a partir de Métodos de Apoio à Decisão Multicritério, integrado a dados geoespaciais, para hierarquizar áreas urbanas prioritárias de intervenção em função da vulnerabilidade climática.

Já os objetivos específicos podem ser divididos em:

- Definir critérios e subcritérios de análise que representem dimensões ambientais, sociais e econômicas;
- Integrar dados geoespaciais de diferentes fontes para composição dos indicadores; aplicar Métodos de MCDA para o ranqueamento de áreas vulneráveis;
- Produzir mapas temáticos de vulnerabilidade e discutir implicações para o planejamento urbano adaptativo.

3) Metodologia

Trata-se de pesquisa quali-quantitativa, do tipo exploratória e estruturada nas seguintes etapas:

- Levantamento e tratamento dos dados geoespaciais: serão considerados indicadores como uso e ocupação do solo, cobertura vegetal, altimetria, infraestrutura de drenagem, densidade populacional e índices de vulnerabilidade social. Esses dados podem ser obtidos em bases públicas (IBGE, INMET, ANA) e tratados em ambiente SIG (QGIS/ArcGIS) para padronização e normalização;
- Estruturação multicritério: serão definidos critérios ambientais (risco de inundação, permeabilidade do solo, cobertura vegetal), sociais (renda, densidade populacional, vulnerabilidade) e econômicos (custo de intervenção, infraestrutura existente). Os pesos relativos podem ser atribuídos a partir do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), conforme Saaty (1977), utilizando matrizes de comparação pareada e cálculo do índice de consistência ($CR \leq 0,1$);
- Aplicação do método de agregação: para integração dos resultados, adotou-se o método *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), que considera a proximidade de cada alternativa em relação a uma solução ideal positiva e negativa (Hwang; Yoon, 1981);
- Geração dos mapas de vulnerabilidade: As áreas foram classificadas em três categorias, alta, média e baixa prioridade de intervenção. O mapa final foi validado com registros históricos de eventos climáticos.

4) Resultados e Discussões

Com base na estrutura metodológica proposta, integrando dados geoespaciais a métodos multicritério, foi realizada uma simulação experimental para demonstrar o potencial de aplicação prática da metodologia. Os dados utilizados são fictícios, mas representam indicadores reais que podem ser facilmente obtidos a partir de bases públicas

(IBGE, INMET, ANA, MapBiomas etc.) e incorporados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

O objetivo principal desta etapa foi responder a uma questão fundamental para o planejamento urbano adaptativo: “Mas qual região atacar primeiro?”, ou seja, identificar quais áreas urbanas deveriam receber prioridade de intervenção frente às condições de vulnerabilidade climática e socioambiental, considerando simultaneamente critérios ambientais, sociais e econômicos.

4.1. Estruturação dos critérios

Inicialmente, foi estruturada uma hierarquia decisória composta por um objetivo global, identificar as áreas prioritárias de intervenção climática, cinco critérios de avaliação e cinco alternativas espaciais (A1 a A5), que representam bairros ou setores urbanos hipotéticos. Os critérios definidos refletem dimensões ambientais, sociais e econômicas:

- C1: Perigo de inundação (benefício);
- C2: Impermeabilização do solo (benefício);
- C3: Vulnerabilidade social (benefício);
- C4: Falta de áreas verdes (benefício);
- C5: Custo de intervenção (custo).

Essa estrutura hierárquica é coerente com o modelo proposto por Saaty (1977), permitindo que o processo decisório seja sistematizado por meio de julgamentos pareados, de forma a capturar a percepção relativa de importância entre os critérios analisados.

4.2. Determinação dos pesos por meio do AHP

O método AHP foi utilizado para calcular os pesos relativos entre os critérios de decisão definidos, utilizando a ferramenta computacional de Bozza et al. (2020): (C1) Perigo de inundação, (C2) Impermeabilização do solo, (C3) Vulnerabilidade social, (C4) Falta de áreas verdes e (C5) Custo de intervenção.

A Figura 1 apresenta a matriz de comparação par a par, construída com base na escala fundamental de Saaty (1–9). Nela, os decisores atribuíram maior importância ao perigo de inundação em relação aos demais critérios, refletindo a natureza climática e ambiental da problemática analisada.

Figura 1 – Comparação Par a Par dos Critérios

	Perigo de inundação	Impermeabilização do solo	Vulnerabilidade social	Falta de áreas verdes	Custo de intervenção
Perigo de inundação	1	3	2	4	5
Impermeabilização do solo	1/3	1	1/2	3	4
Vulnerabilidade social	1/2	2	1	3	5
Falta de áreas verdes	1/4	1/3	1/3	1	3
Custo de intervenção	1/5	1/4	1/5	1/3	1

Lambda(λ)	Índice randômico	Índice de consistência	Taxa de consistência	Classificação
5,1912	1,12	0,0478	0,0427	Ótima

Fonte: Autores (2025)

Os valores da matriz resultaram em um autovalor máximo $\lambda = 5,1912$, índice de consistência (IC) = 0,0478 e razão de consistência (CR) = 0,0427, o que indica consistência ótima (CR < 0,1) conforme as Equações (1), (2), (3) e (4).

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{\sum a_i}{n} \quad (1)$$

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{(n - 1)} \quad (2)$$

$$IR_{(n)} = \begin{cases} 0 & \text{se } n = 1 \\ 0,58 & \text{se } n = 2 \\ 0,9 & \text{se } n = 3 \\ 1,12 & \text{se } n = 5 \\ \dots & \\ 1,59 & \text{se } n = 15 \end{cases} \quad (3)$$

$$TC = \frac{IC}{IR_{(n)}} \quad (4)$$

Assim, as comparações foram consideradas logicamente coerentes e adequadas para derivação dos pesos. A Figura 2 sintetiza os pesos finais calculados pelo AHP, obtidos a partir da normalização do autovetor principal.

Figura 2 – Matriz dos Pesos dos Critérios

	A1	A2	A3	A4	A5	Peso Calculado
Perigo de inundação	0.1654	0.1077	0.0660	0.0434	0.0215	0.4040
Impermeabilização do solo	0.0744	0.0484	0.0297	0.0195	0.0097	0.1818
Vulnerabilidade social	0.1075	0.0700	0.0429	0.0282	0.0140	0.2626
Falta de áreas verdes	0.0407	0.0265	0.0163	0.0107	0.0053	0.0995
Custo de intervenção	0.0213	0.0139	0.0085	0.0056	0.0028	0.0520
Total	0.4093	0.2665	0.1634	0.1073	0.0533	1

Fonte: Autores (2025)

Os resultados indicam que os critérios de natureza ambiental (C1, C2, C4) e social (C3) têm peso preponderante na decisão, ao passo que o custo é tratado como fator moderador, garantindo equilíbrio entre viabilidade e impacto social. Essa tendência é consistente com abordagens recentes de resiliência urbana, que enfatizam a priorização de vulnerabilidades em detrimento de restrições financeiras imediatas.

4.3. Aplicação do TOPSIS

Com base nos pesos derivados do AHP, aplicou-se o método TOPSIS, que tem por objetivo classificar as alternativas segundo sua proximidade relativa à solução ideal positiva (melhor cenário) e distância em relação à solução ideal negativa (pior cenário).

A Figura 3 apresenta a matriz de decisão normalizada, composta pelos cinco bairros hipotéticos (A1–A5) avaliados em relação aos cinco critérios. Os quatro primeiros critérios (C1–C4) foram tratados como de benefício (Max), e o último (C5) como custo (Min).

Figura 3 – Matriz de Decisão Inicial

	A1	A2	A3	A4	A5	Peso	Max/Min
Perigo de inundação	0.70	0.90	0.40	0.60	0.80	0.4041	Max
Impermeabilização do solo	0.65	0.80	0.50	0.40	0.75	0.1818	Max
Vulnerabilidade social	0.60	0.70	0.30	0.50	0.80	0.2626	Max
Falta de áreas verdes	0.50	0.70	0.20	0.30	0.60	0.0995	Max
Custo de intervenção	4	6	2.5	3	5.5	0.0520	Min

Fonte: Autores (2025)

A Figura 4 exibe os valores de distância em relação às soluções ideais (D^+ e D^-) e o coeficiente de proximidade relativa (RS), calculado pelas Equações (5), (6) e (7):

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ji} - S_j^+)^2} \quad (5)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ji} - S_j^-)^2} \quad (6)$$

$$RS_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (7)$$

Figura 4 – Desempenho das Alternativas

	D+	D-	RS
A1	0.0701	0.1059	0.6018
A2	0.0268	0.1650	0.8604
A3	0.1717	0.0224	0.1154
A4	0.1151	0.0670	0.3679
A5	0.0322	0.1527	0.8260

Fonte: Autores (2025)

A Figura 5 mostra o ranqueamento final das alternativas, indicando a ordem de prioridade das áreas para intervenção.

Figura 5 – Resultado Final do TOPSIS

Alternativa	Pontuação Obtida
A2	0.8604
A5	0.8260
A1	0.6018
A4	0.3679
A3	0.1154

Fonte: Autores (2025)

Os resultados evidenciam que as alternativas A2 e A5 concentram os maiores índices de vulnerabilidade climática, associando elevado perigo de inundação, alta impermeabilização e vulnerabilidade social, embora apresentem custos de intervenção moderados.

A alternativa A1 apresenta vulnerabilidade intermediária, configurando prioridade secundária, enquanto A4 e A3 possuem baixos índices compostos, sugerindo ações de monitoramento e mitigação gradual.

Esses resultados permitem demonstrar, de forma objetiva, a hierarquização espacial da vulnerabilidade urbana, subsidiando o gestor público com uma base técnico-analítica para priorização de investimentos e políticas de adaptação.

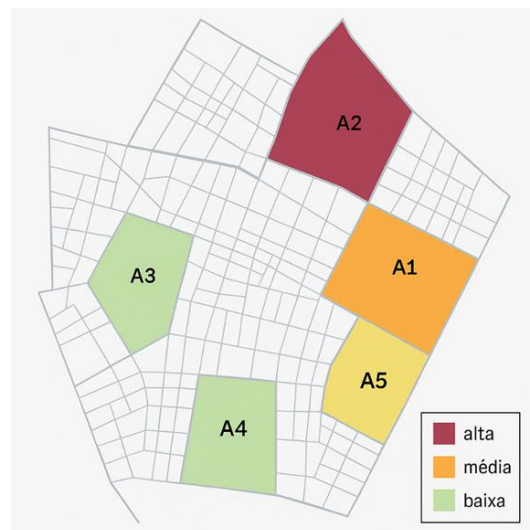
4.4. Considerações sobre a aplicabilidade da metodologia

A combinação dos métodos AHP e TOPSIS mostrou-se matematicamente consistente e operacionalmente robusta, sendo capaz de integrar múltiplas dimensões, físicas, sociais e econômicas, em um único indicador de prioridade de intervenção.

Embora os dados empregados sejam simulados, o procedimento analítico confirma que a abordagem é plenamente aplicável a dados georreferenciados reais, permitindo a geração de mapas temáticos de vulnerabilidade e prioridade de intervenção climática.

Com base no modelo proposto, o decisor pode identificar de forma transparente, mensurável e replicável as regiões mais críticas sob o ponto de vista climático e social, otimizando a alocação de recursos e fortalecendo o planejamento urbano resiliente. Como exemplo ilustrativo, foi gerado o mapa de vulnerabilidade x priorização de área de intervenção, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 – Mapa Vulnerabilidade x Priorização



Fonte: Autores (2025)

5) Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua apoio técnico científico aportado até o momento.

6) Referências

BELTON, Valerie; STEWART, Theodor. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Springer Science & Business Media, 2012.

BOZZA, Gabriel et al. **Three Decision Methods (3DM) Software Web (v.1)**. 2020.

DE MOURA PEREIRA, Daniel Augusto et al. Development of strategic planning of a financial education company in Brazil: an approach based on the new Multicriteria Decision Analysis Method SWOT-DMS. **Procedia Computer Science**, v. 221, p. 681-688, 2023.

DINIZ, Bruno Pereira et al. Choice of an Irrigation Method for Maize Cultivation in a Local Productive Arrangement Using the SAPEVO-M Method. **Procedia Computer Science**, v. 242, p. 552-559, 2024.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, Carlos Francisco Simões. Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério. **São Paulo: Atlas**, 2019.

HWANG, C; YOON, K. **Methods attribute decision making: Methods and application**. 1. Ed. New York: Springer, 1981.

PEREIRA, DAM; DINIZ, B. P. Engenharia de Segurança do Trabalho: Abordagem Multicritério de Tomada de Decisão em Casos Reais. **Campina Grande: Banm Editora**, 2024.

REZVANI, Seyed MHS et al. A systematic literature review on urban resilience enabled with asset and disaster risk management approaches and GIS-based decision support tools. **Applied Sciences**, v. 13, n. 4, p. 2223, 2023.

SAATY, Thomas L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SELEGUIM, Fabiana Barbi et al. Nature-based Solutions to Adapt to Local Climate Change: Political Strategies in Brazilian Cities. **Brazilian Political Science Review**, v. 18, p. e0008, 2024.