

Decisão multicritério para avaliação dinâmica de riscos de inundações: uma nova abordagem para a adaptação climática de áreas urbanas

Lucas Borges Leal da Silva, Marcelo Hazin Alencar, Adiel Teixeira de Almeida

Promover centros urbanos sustentáveis e com qualidade de vida implica tomar decisões integradas e capazes de conciliar recursos ambientais com justiça social e responsabilidade financeira, especialmente quando desastres naturais se confundem com o cotidiano da população. Conforme as estatísticas do repositório de dados da companhia alemã Munich Re, as inundações representam cerca de 40% de todas as catástrofes naturais relacionadas com perdas, afetando aproximadamente 115 milhões de pessoas, além de casas,

propriedades e infraestruturas cujos custos de reparo e manutenção ultrapassam a ordem de 1 trilhão de dólares.

Especialmente no contexto hidrológico, a relação entre cidades e o risco de inundações está longe de ser equilibrada. De mortes a lesões, passando por disseminação de doenças, perdas monetárias, danos patrimoniais e desabrigos, os impactos das inundações relatadas em todo o mundo reforçam a crescente preocupação de gestores, cientistas, formuladores de políticas públicas, economistas e outros profissionais neste tema. Des-

se modo, a água assume um aspecto polêmico pois, embora simbolize um elemento histórico de prosperidade e que impulsionou o desenvolvimento humano desde as comunidades tradicionais, ela também representa um meio deflagrador de múltiplos efeitos adversos na sociedade. Além disso, é importante ressaltar como os efeitos climáticos potencializam as estatísticas alarmantes. De acordo com o sexto relatório especial do IPCC (Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas), a variabilidade no clima de até



1,5°C é suficiente para que os modelos climáticos projetem registros frequentes de precipitações intensas que são consideravelmente maiores do que os padrões de chuva atual em diversas regiões do mundo.

Assim, a gestão de riscos de inundações tem o importante papel de empregar ferramentas diversas para analisar os impactos destes eventos de forma integrada, colocando em evidência as limitações das cidades e os futuros

desafios que são fundamentais para

prevenir danos, reduzir riscos e promover o desenvolvimento urbano sustentável do próximo século.

Entretanto, políticas utilizadas para mitigar eventos extremos como esses muitas vezes levam em conta múltiplos objetivos que frequentemente conflitam entre si. É nesse contexto que se observa a necessidade de inserir uma nova perspectiva para lidar com aspectos complexos e dinâmicos no contexto de prevenção de desastres.

Apresentando o modelo

Este trabalho propõe um modelo de decisão multidimensional, georreferenciado e dinâmico para avaliar e priorizar risco de inundações em áreas urbanas em meio aos impactos climáticos e demográficos. Para tanto, sua formulação de baseia na abordagem multicritério, que é caracterizada por trabalhar com ao menos dois critérios e um conjunto de alternativas a serem avaliados por um deci-

A gestão de riscos de inundações tem o importante papel de empregar ferramentas diversas para analisar os impactos destes eventos de forma integrada

sor. Tal abordagem permite ao gestor público ordenar o risco de inundações de um conjunto de áreas em uma região urbana previamente delimitada, para que ações de mitigação, projetos de infraestrutura e alocação de recursos, sejam implementadas a posteriori.

O decisor insere a subjetividade no processo na forma de preferências, no que diz respeito ao trade-off realizado entre os critérios envolvidos no problema. O modelo considera cinco critérios desenhados estrategicamente

para mensurar o impacto na área urbana, cujo método multicritério desenvolvido busca agregar os riscos em um único índice, incluindo os aspectos humano (fatalidades), social (número de famílias desabrigadas), financeiro, ambiental (contaminação de corpos d'água por patógenos) e de mobilidade (redução de velocidade média em vias arteriais).

Cabe avaliar que, na prática, os impactos de todos os critérios estão sujeitos ao

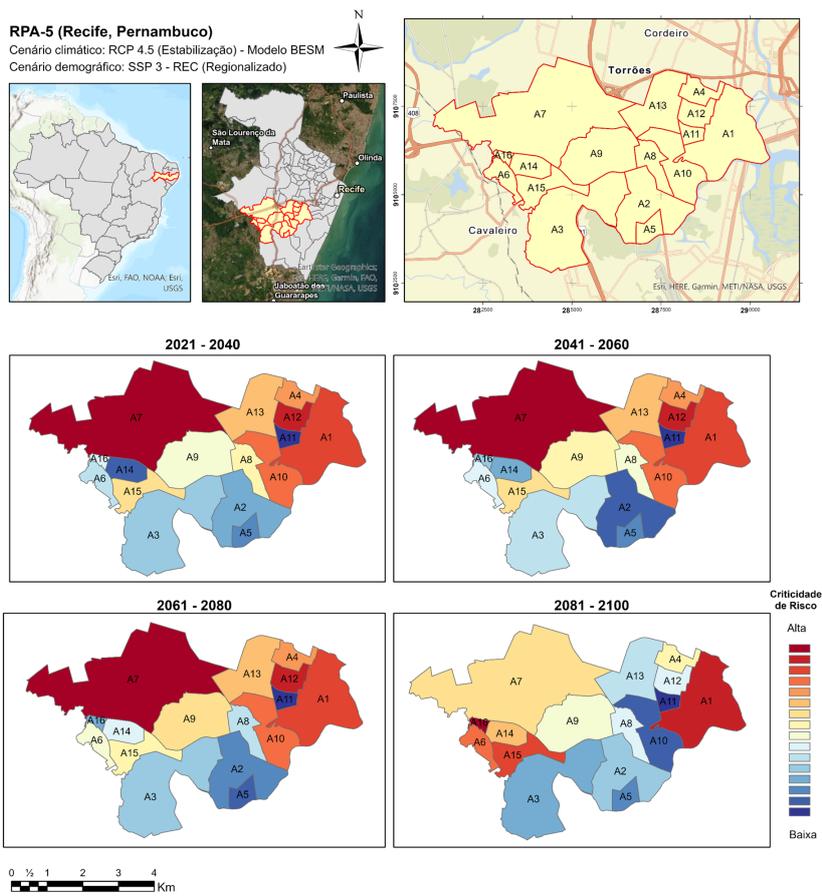
comportamento estocástico de ocorrência e

intensidade da inundação, o que justifica as ferramentas empregadas pelo método desenvolvido para calcular o risco multidimensional.

Um novo método multicritério para avaliação dinâmica de risco

Baseado em uma perspectiva dinâmica de risco, isto é, que considera a influência do tempo na avaliação do fenômeno natural, o novo método, intitulado NSMAUT (Non-Stationary Multi-Attribute Utility





Uma aplicação numérica foi realizada em uma região da cidade do Recife composta por 16 bairros localizados na zona leste do centro urbano. Trata-se de uma região bastante suscetível aos efeitos danosos das inundações, pois, além da presença de moradias em áreas de morros, possui uma pobre cobertura de drenagem e saneamento, como observado pelos relatórios técnicos locais e regionais realizados após as chuvas torrenciais recentes de maio de 2022, que deixaram aproximadamente 100 mortos, 56 pessoas desaparecidas e mais de 5 mil famílias desabrigadas.

Uma análise técnica dos resultados obtidos foi consistente com o relatório de gestão local apresentado na Conferência Nacional para a Mudança Climática em 2019, no qual já se apontava a influência da urbanização e do clima no risco dinâmico para as próximas décadas. Isso comprova que o modelo contribui com uma ampla gama de informações que motivam os atores do processo a estruturarem medidas de curto, médio e longo prazo, fundamentando medidas efetivas de adaptação climática em Recife, município que consta na lista das cidades mais vulneráveis do mundo aos desastres naturais dessa natureza. Sendo assim, espera-se que a gestão de integrada de risco em uma perspectiva dinâmica contribua para mudar a dura realidade de diversas cidades brasileiras, como ocorre em Recife.

Theory), leva em conta uma abordagem probabilística para modelar a frequência e o impacto das inundações, a fim de detectar tendências e variabilidade das inundações com o tempo. Assim, o modelo engloba modelos matemáticos que buscam prever o crescimento urbano e as alterações climáticas, a fim de quantificar como futuras inundações causarão impactos sobre os cinco critérios, levando em consideração, em sua modelagem de preferências, que os decisores podem apresentar atitudes de risco induzidas pelo tempo.

Ao combinar a interação entre o fenômeno natural e o espaço urbano, um modelo desenvolvido com o NSMAUT é capaz de calcular os riscos multicritério em um dado

instante de tempo, usando cenários climáticos e demográficos instituídos IPCC, projetado para as próximas décadas. Com auxílio de ferramentas gráficas e de georreferenciamento, uma análise cíclica (periódica) deste modelo em contexto prático nas cidades brasileiras pode ser encarada como um processo de autoconhecimento da atuação pública, uma vez que novas informações sobre o desastre natural podem ser atualizadas a fim de melhorar os planos de prevenção e redução de riscos, aumentando assim a resiliência desse espaço urbano e mitigando efetivamente os impactos envolvidos.

Impactos na tomada de decisão



**Lucas Borges
Leal da Silva**



**Marcelo Hazin
Alencar**



**Adiel Teixeira
de Almeida**

Os Pesquisadores

Lucas Borges Leal da Silva

É Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Pela UFPE, é Bacharel em Engenharia Civil (2017), Mestre (2019) e Doutor em Engenharia de Produção (2022). É membro colaborador do Grupo de Pesquisa REASON. Tem atuado em pesquisas estratégicas, com foco em apoio a decisão multicritério, seleção de portfólio, gestão de riscos tecnológicos e avaliação de riscos associados a desastres naturais e mudanças climáticas. É autor e co-autor de capítulos de livro e artigos científicos em periódicos internacionais.

Marcelo Hazin Alencar

É Professor Associado do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, onde atua como coordenador no Grupo de Pesquisa em Análise de Risco e Modelagem em Meio-ambiente, Ativos, Segurança, Operações e Natureza (REASON). Tem atuado em pesquisas vinculadas às áreas de Gestão da Produção e Pesquisa Operacional, focando em temas como decisão multicritério, gerenciamento de riscos tecnológicos e gerenciamento de riscos associados a desastres naturais e mudanças climáticas.

Adiel Teixeira de Almeida

Professor titular da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), onde atua como coordenador do Centro de Desenvolvimento em Sistemas de Informação e Decisão (www.cdsid.org.br/). Tem trabalhado

no desenvolvimento e avanços metodológicos em apoio a decisão com múltiplos objetivos e de decisão em grupo, e na aplicação de métodos em diversos contextos, incluindo modelagem estratégica, gestão de portfólio, gestão de projetos, terceirização, gestão da informação, gerenciamento de riscos, engenharia de confiabilidade e manutenção, e qualidade.

Contato

borgesleal.lucas@gmail.com

Referências

DA SILVA, Lucas Borges Leal; ALENCAR, Marcelo Hazin; DE ALMEIDA, Adiel Teixeira. Exploring global sensitivity analysis on a risk-based MCDM/A model to support urban adaptation policies against floods. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 73, p. 102898, 2022.

DA SILVA, Lucas Borges Leal; ALENCAR, Marcelo Hazin; DE ALMEIDA, Adiel Teixeira. A novel spatiotemporal multi-attribute method for assessing flood risks in urban spaces under climate change and demographic scenarios. *Sustainable Cities and Society*, v. 76, p. 103501, 2022.

DA SILVA, Lucas Borges Leal; ALENCAR, Marcelo Hazin; DE ALMEIDA, Adiel Teixeira. Promoting safety societies with a non-stationary multidimensional model that prioritizes flood risks under climate change effects. *Chemical Engineering Transactions*, v. 90, p. 61-66, 2022.

DA SILVA, Lucas Borges Leal; ALENCAR, Marcelo Hazin; DE ALMEIDA, Adiel Teixeira. Multidimensional flood risk management under climate changes: Bibliometric analysis, trends and strategic guidelines for decision-making in urban dynamics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 50, p. 101865, 2020.

DA SILVA, Lucas Borges Leal et al. GIS-based multidimensional decision model for enhancing flood risk prioritization in urban areas. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 48, p. 101582, 2020.

