

Mapeamento de riscos relacionados à inundação urbana: um estudo bibliográfico sobre os métodos mais utilizados na geração de cenários (2012-2024)

Vinnícius Vale Dionízio França¹

Thiago Kich Fogaça²

Braien Henrique Gonçalves³

Jhonathan Lima de Souza⁴

INTRODUÇÃO

Os impactos adversos das mudanças climáticas causadas pela sociedade continuarão a se intensificar a curto prazo e médio prazo. Todas as regiões do mundo estão projetadas para enfrentar aumentos adicionais das ameaças climáticas, que tendem a se tornar cada vez mais frequentes e intensas. No que diz respeito às cidades, aglomerados urbanos e a infraestrutura, as inundações se apresentam como uma das principais causas de impactos substanciais, danos e perdas econômicas e humanas.

As modelagens regionais retratadas nos relatórios do IPCC (AR4 e AR5), apontam um aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de chuva, causando eventos desastrosos de inundações (Goudard e Mendonça, 2017). De acordo com a síntese do sexto relatório de avaliação do IPCC (2023) com o aumento do aquecimento global, cada região deve sentir cada vez mais as mudanças simultâneas e múltiplas em agentes climáticos causadores de impactos e ameaças.

Os geógrafos vêm se aprofundando no entendimento das desigualdades socioespaciais e dos dilemas socioambientais que são recorrentes na atualidade, como o caso das inundações urbanas. Segundo Tucci (2012, apud Farias e Mendonça, 2022), elas ocorrem pelo processo natural no qual rios, córregos e canais urbanos transbordam devido ao aumento súbito ou gradual da vazão, somados ao escoamento superficial gerado pela impermeabilização do solo. No entanto, quando a população ocupa as planícies de inundação, os problemas são frequentes e as consequências podem ser desastrosas.

Nos grandes aglomerados urbanos, as inundações estão entre as ameaças naturais que mais causam danos humanos e materiais (Almeida, 2012). Segundo Almeida (2012) o risco é um constructo eminentemente social.

Neste sentido, é considerado uma percepção de um ou mais indivíduos sobre a probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente perigoso e causador de danos.

¹ Doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Paraná, vinniciusdionizio@gmail.com

² Doutor em Geografia da Universidade Federal do Paraná, tkfogaca@gmail.com

³ Mestrando em Geografia pela Universidade Federal do Paraná, braienhg@gmail.com

⁴ Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas, j234501@dac.unicamp.br

“O risco é uma função de duas categorias: $R = f(P, V)$, onde P é o evento perigoso ou sua potencialidade de ocorrência, e V é a vulnerabilidade intrínseca de um indivíduo ou grupo de indivíduos” (Almeida, 2012, p. 26).

Complementando, Veyret (2007) afirma que há diversos tipos de riscos, mas nem todos são tratados pela Geografia. Os riscos cuja percepção e gestão podem ser abordados pela ciência geográfica são classificados de acordo com os processos que os causam, como riscos ambientais, riscos naturais e riscos tecnológicos, ou outros tipos de riscos, como riscos econômicos, geopolíticos e sociais.

No que se refere ao mapeamento e identificação do risco de inundação, diversas pesquisas no contexto da ciência geográfica já foram elaboradas aplicando metodologias diversas, com utilização de dados de relevo, históricos de ocorrências, aplicação de questionários, dados censitários do Censo IBGE e uso de dados pluviométricos, por exemplo. Os métodos utilizados e os principais resultados são importantes para a construção de um método atual de análise deste impacto (inundações urbanas) e utilização de indicadores para diagnosticar as regiões mais vulneráveis.

Mediante esta contextualização, o objetivo deste trabalho é identificar os principais métodos utilizados em estudos geográficos para o mapeamento de risco de desastres relacionados a inundações.

Para fim de síntese, esse texto objetiva responder as seguintes perguntas: Quais foram as escalas espaciais utilizadas? Quais foram os métodos mais utilizados nos trabalhos analisados?

MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de um estudo de levantamento bibliográfico. A base de dados foi a biblioteca acervo de periódicos da CAPES com pesquisa realizada no dia 06 de agosto de 2024.

Foram feitos testes prévios para escolha das palavras chaves, tendo como premissa os conceitos de risco, vulnerabilidade, desastres naturais e inundações. No entanto, foi necessário adaptar para ampliar os resultados obtidos, permanecendo na consulta os termos “**risco, inundações e Geografia**”, condicionados ao título ou assunto. Além disso, aplicou-se os filtros para tipo de trabalho: Artigo, Ano (2013 – 2024) e condicionando para os textos que tiveram revisão por pares.

Após a coleta dos textos, os mesmos foram classificados contendo as seguintes informações: autoria, ano, escala espacial, objetivos, materiais e métodos e principais resultados. O método utilizado para inclusão dos textos para análise levou em consideração

aqueles que utilizaram alguma técnica de geoprocessamento, análise estatística e/ou confecção de mapas. Apenas um trabalho foi excluído da seleção visto que sua metodologia era elaboração de um referencial teórico, a qual distância dos demais trabalhos inclusos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa nos periódicos da CAPES resultou em 10 artigos, conforme apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Quadro síntese dos trabalhos selecionados para análise.

Autor (es) e ano	Escala espacial	Métodos e técnicas
Alves e Cunha (2020)	Município - Santa Clara, Coimbra, Portugal	Análises multicritério baseadas nas condicionantes físicas do território
Andrade, Ferreira e Silva (2013)	Município - Uberlândia/MG	Cruzamento de informações hipsométricas, de declividade e de uso e ocupação do solo
Cavalcanti, Junior e Candeias (2012)	Bacia hidrográfica do Rio Una/PE	MDE com LIDAR, dados de setores censitários do Censo 2010 do IBGE, álgebra de mapas
Costa e Miyazaki (2015)	Município - Capinópolis/MG	Análise de dados pluviométricos de 1984 a 2014, além de reconhecimento de campo das áreas com histórico de inundações e alagamentos
Damasco, Furtado e Bento-Gonçalves (2014)	Bacia hidrográfica do rio Luís Alves/SC	Para o mapeamento das áreas susceptíveis à inundação foram utilizados os dados fluviométricos, em correlação com o mapa de declives gerado nas análises morfológica e morfométrica e com o mapa de uso e cobertura do solo.
Dickel e Godoy (2016)	Município - Itaóca- SP	Análise de dados históricos de eventos adversos e dados de precipitação e características geográficas para áreas vulneráveis a inundação
Freitas e Robaina (2019)	Município - Restinga Seca/RS	Estudos sobre o histórico das inundações ocorridas entre 1980 e 2016, os materiais utilizados na pesquisa foram imagens de satélite, cartas topográficas, aparelhos de GPS e a base cadastral do município
Neto, Peixoto e Araujo (2017)	Município - Ipanguaçu/RN	Coleta de dados por entrevistas com moradores das áreas de risco e análise de documentos e registros históricos
Santos e Rocha (2013)	Município - Ubá/MG	Noticiários e registros feitos pela Defesa Civil Municipal
Servidoni et al. (2019)	Bacia hidrográfica do Rio Machado	Dados de elevação, cálculo e pontos amostrados por geoestatística

Fonte: Os autores (2024).

Com o objetivo de sintetizar melhor os métodos utilizados, foi elaborado um gráfico apresentando cada trabalho e seus métodos. Nesse gráfico podemos observar os trabalhos que utilizaram mais de um método.

Quadro 2 – Análise do método utilizado pelos autores.

Método	Autores					
Setores Censitários						
Dados de Relevô	Cavalcanti, Júnior e Candeias (2012)	Andrade, Ferreira e Silva (2013)	Alves e Cunha (2020)	Damasco, Furtado e Bento-Gonçalves (2014)	Freitas e Robaina (2019)	Servidoni et al. (2019)
Registros Históricos		Costa e Miyazaki (2015)	Dickel e Godoy (2016)			Santos e Rocha (2013)
Dados Pluviométricos	Neto, Peixoto e Araújo (2017)					
Questionários						

Fonte: Os autores (2024).

Alves e Cunha (2020) utilizaram **dados de relevo** como a hipsometria, declividade, forma das vertentes, litologia e ocupação do solo. Os declives foram agrupados por classes; a litologia foi agrupada em cinco categorias, conforme publicação de Tavares (1999); o mapa de ocupação do solo foi realizado usando como base a Carta de Uso e Ocupação do Solo (DGT, 2007), atualizada com base na interpretação de *ortofotomapas* da área de estudo. Na sequência, foi realizada uma atribuição de pesos, ponderação de 0 a 5 em função da importância de cada uma e, posteriormente, foi estabelecida uma fórmula que relaciona os diferentes fatores considerados, a partir dos pesos para declividade, litologia e uso e ocupação do solo. As áreas inundáveis obtidas pelo resultado da metodologia correspondem às áreas contíguas na margem do Rio Mondego, que serão atingidas por cheias num período de retorno de cem anos.

Andrade, Ferreira e Silva (2013) utilizaram dados de **morfometria da bacia hidrográfica**, analisando altimetria e declividade. Além disso, foram analisados os níveis de impermeabilização da bacia, através de análise do uso e ocupação do solo. Como metodologia foi utilizada a AHP – *Analytic Hierarchy Process*, reproduzida por Saaty (1977), para determinar pesos estatísticos para as variáveis selecionadas e que seriam representadas em mapas temáticos. De acordo com os autores, o produto gerado pelo cruzamento de fatores de impermeabilização do solo, atrelados a morfometria da bacia (altimetria e declividade), com a devida distribuição dos pesos de cada uma das variáveis, apresentou resultados satisfatórios. Por fim, ressaltam que a inserção de outras variáveis, como o monitoramento hidrológico, poderiam contribuir para dar mais precisão aos resultados da pesquisa.

Cavalcanti, Júnior e Candeias (2012) utilizaram dados de **setores censitários do IBGE**, imagens de satélite RAPIDEYE com resolução espacial de 5 metros e dados do sistema Laser Scanner Aerotransportado (LSA), **para elaboração do MDE**. O objetivo do trabalho foi simular lâminas de inundações em diferentes altitudes, a partir de escolhas de curvas de nível equidistantes compatíveis com as altitudes das cheias relacionadas a série histórica na área de estudo. Elaboraram uma estimativa da população afetada a partir da razão entre a população e a área dos setores afetados. Após isso, foi aplicada uma equação de critério de risco $CR = Ar/At$, onde CR é o critério de risco, Ar é a área sob risco de inundação e At é a área total. Na sequência, a partir da intersecção de mapas, foi elaborado o Mapa de Risco de Inundação, apresentando a área de cada setor censitário e seu nível de risco. Como limitações da metodologia apresentada pelos autores está que o uso da distribuição uniforme da população gera certa imprecisão no risco de inundação, uma vez que este risco está atrelado ao posicionamento da população.

Costa e Miyazaki (2015) utilizaram **dados pluviométricos** entre 1984 e 2014, uma escala temporal de 30 anos, e apresentaram a média pluviométrica anual em mm por meio de gráficos. Foram realizados trabalhos de campo para identificação de pontos onde já havia ocorrido alagamentos ou inundações. Como forma de contrapor estas informações, foi realizada uma análise de reportagens nos jornais locais, e a relação com dados meteorológicos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram elaborados gráficos e mapas para apresentar a exposição das inundações da área de estudo.

Damasco, Furtado e Bento-Gonçalves (2014) realizaram um estudo sobre riscos naturais com enfoque nos riscos hidrológicos e fluviais. Primeiramente, buscaram informações do **resgate histórico** em que foram coletados os dados referentes ao comportamento do Rio Luís Alves desde 1946. A análise morfológica da área de estudo foi elaborada juntamente com a análise **morfométrica da bacia hidrográfica**. Para a análise do uso e cobertura do solo foram utilizadas imagens da plataforma de satélite IKONOS-II. Os mapas de áreas suscetíveis foram gerados cruzando dados fluviométricos com o declive e uso e cobertura do solo. Em relação ao uso de materiais, foram usados os dados hidrológicos fornecidos pela estação fluviométrica do Rio Luís Alves, cedidos pela ANA e EPAGRI. O software utilizado para as análises foi o Sistema de Informação Geográfica – SIG – através do programa *ArcGIS*, utilizado para a simulação de inundações e mapeamento das áreas de risco.

Dickel e Godoy (2016) utilizaram como base de dados os **registros de eventos adversos e desastres naturais no Brasil**, especificamente do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (1991-2012), onde contabilizaram 38.996 eventos, com 73% ocorrendo nos últimos 10 anos. Os métodos envolvem a análise da interação entre elementos naturais e antrópicos, considerando a bacia hidrográfica como unidade de análise para compreender os riscos e desastres ambientais. Além disso, foram utilizados **dados de precipitação e características geográficas** para avaliar áreas vulneráveis a inundações.

Freitas e Robaina (2019) utilizaram **pesquisa documental de uma série história** entre 1980 e 2016 (36 anos). Os dados foram contemplados por consultas no Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres (S2ID) da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, além de informações obtidas na mídia. A partir da base cadastral disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Restinga Seca foi possível obter o zoneamento de perigo, vulnerabilidade e risco de inundação, em uma escala de 1:2.000. O perigo de inundações foi determinado a partir do cruzamento entre o mapa de suscetibilidade às inundações, distância das moradias em relação à drenagem e as **cotas altimétricas** correspondentes para cada imóvel em diferentes setores do curso hídrico. Para a definição da vulnerabilidade das áreas afetadas foi considerado como

principal critério, o padrão construtivo das moradias e o tipo de uso. Para a hierarquização das classes de vulnerabilidade, foi considerada a participação das famílias no cadastro único do governo federal; essas informações foram disponibilizadas pela Secretaria Municipal de Assistência Social e Habitação do Município. Para o zoneamento de risco de inundação relacionaram os levantamentos obtidos sobre o perigo e a vulnerabilidade, com o cruzamento dessas informações.

Pereira Neto, Peixoto e Araújo (2017), objetivaram analisar a percepção de riscos de inundação, baseando-se na abordagem perceptiva, a fim de compreender como os indivíduos enxergam a dinâmica deste risco no ambiente em que vivem. O método do trabalho seguiu uma linha de cinco passos principais para a obtenção dos resultados: primeiro o conceito de percepção ambiental; seguido pelo método fenomenológico; na sequência a elaboração e **uso de questionários**; elaboraram o mapeamento das áreas de risco a partir dos dados coletados; e por fim, uma **análise temporal** das chuvas.

Santos e Rocha (2013) aplicaram o método de Análise Preliminar de Risco (*Preliminary Hazard Analysis - PHA*), que tem por objetivo a sua identificação, a avaliação da frequência e de suas consequências, a avaliação do risco total e a proposta de medidas para reduzir riscos ambientais. Os autores dividiram as consequências causadas pelos impactos pluviais em quatro classes: mínima, média, importante e catastrófica. Também realizaram uma divisão para a frequência dos impactos pluviais por classes: muito baixa, baixa, média e alta. Com isso, a metodologia utilizada envolveu a análise de **registros históricos e fontes secundárias, como jornais locais e relatórios da Defesa Civil do município**, para avaliar a frequência e as consequências desses impactos no município estudado.

No trabalho de Servidoni *et al.* (2019), o método utilizado envolveu a avaliação e mapeamento de áreas de risco de enchentes e inundações fazendo o uso de krigagem ordinária em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográficas). A primeira etapa para esta metodologia foi a geração dos **Modelos Digitais de Elevação (MDE)**, seguido pelo uso de dados geoestatísticos com a técnica de krigagem ordinária, em seguida a aplicação de índices hidrológicos, a fim de avaliar potenciais áreas de enchente e, por fim, o resultado do mapeamento, que indicou as áreas no recorte estudado com risco a processos hidrológicos extremos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise dos trabalhos, foi possível concluir que os materiais mais utilizados foram os dados de relevo, que incluem altimetria, declividade, MDE – Modelo Digital de Elevação e

registros históricos dos eventos, como pesquisas em bancos de dados de desastres e Defesa Civil, ambos em 5 trabalhos. Em seguida vieram a utilização de dados pluviométricos, como dados de precipitação, utilizado em 3 trabalhos, enquanto dados de setores censitários do Censo IBGE e aplicação de questionários, foram utilizadas apenas 1 vez.

Após a análise dos textos não foi possível identificar um método específico para elaboração de cenários de risco de vulnerabilidades. Desta maneira, sugere-se uma pesquisa mais aprofundada envolvendo outros níveis de publicações, como dissertações e teses, para ampliar os resultados.

Palavras-chave: Riscos; Inundações; Geografia.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e PPGGEO/UFPR - Programa de Pós-graduação em Geografia da UFPR.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. Q. de. **Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações** / Lutiane Queiroz de Almeida. - São Paulo, SP: Cultura Acadêmica, 2012. 215p. : il.
- ALVES, A. D.; CUNHA, L. Riscos Naturais Em Áreas Urbanas: Avaliação Da Suscetibilidade Em Santa Clara, Coimbra - Portugal. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 18, p. 63-83, 2016.
- ANDRADE, S. L.; FERREIRA, V. de O.; SILVA, M. M. Elaboração de um mapa de risco de inundação da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG / Elab. of a inund. risk map of the watershed of the stream St. Pedro, urban area of Uberlândia-MG - DOI: 10.5752/P.2318-2962.2014v24n41p1. **Caderno De Geografia**, v. 24, p. 10.5752/P.2318-, 2014.
- COSTA, H. R. O.; MIYAZAKI, L.C.P. Análise preliminar dos dados pluviométricos e caracterização das áreas de risco à enchente, inundação e alagamento na cidade de Capinópolis/MG. **Boletim De Geografia (Online)**, v. 33, p. 46-67-67, 2015.
- CANNON, T.; TWIGG, J.; ROWELL, J. Social Vulnerability, Sustainable Livelihoods and Disasters. Department for International Development, 2003. 63p.
- CAVALCANTI, R. C.; TAVARES JUNIOR, J. R.; CANDEIAS, A. L. B.. Simulação De Mapeamento De Riscos De Inundações Usando Dados Lidar: Estudo De Caso Da Bacia Do Rio Una - Pe. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia (Online)**, v. 2013, p. 703-716, 2013.

DAMASCO, F. S.; FURTADO, T. V.; BENTO-GONÇALVES, A. J. Risco De Inundação Em Áreas Rurais: Bacia Do Rio Luís Alves (Sc). **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 18, p. 99-118, 2015.

DICKEL, M.; BERRÍOS-GODOY, M. B. R. Desastres ambientais e impactos socioambientais: inundações no município de Itaóca- SP: Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento e gestão de riscos. **Cadernos do Departamento de Geografia**, 2016.

FREITAS. R. B.; ROBAINA, L. E. S. Estudo E Cadastro De Zonas De Risco De Inundação Na Área Urbana Do Município De Restinga Sêca-Rs. **Boletim De Geografia (Online)**, v. 37, p. 85-104, 2019.

FARIAS, A.; MENDONÇA, F. The Urban Environmental System perspective on socio-environmental risks of urban flooding. **Sociedade & Natureza**, [S. l.], v. 34, n. 1, 2022. DOI: 10.14393/SN-v34-2022-63717. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadnatureza/article/view/63717>. Acesso em: 27 aug. 2024.

Goudard, G., Mendonça, F.A.: Eventos pluviiais extremos em Curitiba (Paraná): entre antigos problemas e novos desafios. In: Perez Filho, A., Amorim, R, R. (Org.). **Os desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. 1ª ed. Campinas: Instituto de Geociências - UNICAMP, v. 1, p. 1919-1930, 2017.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

ISDR - INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives**. Preliminary version. Geneva, Switzerland: UN/ISDR. 2002.

PEREIRA NETO, M. C.; DE SANTANA PEIXOTO, M. C.; DE ARAÚJO, J. P. R. Abordagem Perceptiva Aplicada À Análise Dos Riscos De Inundação No Município De Ipanguaçu/RN - Brasil. **Boletim De Geografia (Online)**, v. 35, p. 134-147, 2017.

SANTOS, V. J.; ROCHA, G. C. Análise Preliminar de Riscos a Impactos Pluviais em Ubá/MG. **Revista de Geografia**, v. 3, p. 1-6, 2014.

SERVIDONI, L. E; TEODORO, A. E. DE M; MINCATO, R. L; DOS SANTOS, C. A. Avaliação de risco a enchentes e inundações por krigagem ordinária em sistemas de informação geográfica. **Caderno De Geografia (PUCMG. Impresso)**, v. 29, p. 126-143, 2019.

SILVA, F. J. L. T.; SABÓIA DE AQUINO, C. M. Riscos e Vulnerabilidades Socioambientais Urbanos: Estado Da Arte Em Eventos Científicos Nacionais (2008-2019)'. **Revista Da Anpege**, V. 17, P. 114-130, 2021.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Distrito Federal: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. Disponível em: https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/38004/LCBR274_pt.pdf. Acesso em: 23 fev. 2022.