



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Thomas Nicolas Limão Isidro

Sistemas inteligentes para o gerenciamento de impactos de eventos climáticos extremos

PAU DOS FERROS

2025

Thomas Nicolas Limão Isidro

Sistemas inteligentes para o gerenciamento de impactos de eventos climáticos extremos

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido Campus Pau dos Ferros como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia.

Orientador: Wilza da Silva Lopes, Prof.^a Dr.^a

PAU DOS FERROS

2025

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

I81s Isidro, Thomas Nicolas Limão.
 Sistemas inteligentes para o gerenciamento de
 impactos de eventos climáticos extremos / Thomas
 Nicolas Limão Isidro. - 2025.
 47 f. : il.

 Orientadora: Wilza da Silva Lopes.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
 Tecnologia, 2025.

 1. sistemas inteligentes. 2. enchentes. 3.
 desastres naturais. 4. mudanças climáticas. 5.
 inteligência artificial. I. Lopes, Wilza da
 Silva, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da
Silva CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Thomas Nicolas Limão Isidro

Sistemas inteligentes para o gerenciamento de impactos de eventos climáticos extremos

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido Campus Pau dos Ferros como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia.

Defendida em: 01 / 08 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Wilza da Silva Lopes, Prof.^a Dr.^a - (UFERSA)
Presidente

Barbara Barbosa Tsuyuguchi, Prof.^a Dr.^a - (UFERSA)
Membro Examinador

Ysa Helena Diniz Moraes de Luna, Prof.^a Dr.^a - (IFES)
Membro Examinador

“A inteligência artificial pode não controlar o clima, mas pode nos ajudar a compreendê-lo e a nos adaptarmos a ele.”

— Adaptado de Camps-Valls et al., 2025

RESUMO

O aumento da intensidade e da frequência dos eventos climáticos extremos, como enchentes e deslizamentos de terra, demanda o desenvolvimento de estratégias tecnológicas eficazes para ações de gestão ambiental preventivas ou corretivas. Este trabalho tem como objetivo identificar sistemas inteligentes aplicados ao enfrentamento de desastres naturais, visando compreender os desafios e as tendências futuras. Para tanto, foi realizada uma revisão bibliográfica de 243 artigos científicos indexados na base de dados Scopus, dos quais 23 foram selecionados com base em critérios de aderência temática e aplicabilidade. A análise dos dados foi complementada com o uso da ferramenta VOSviewer, que permitiu a construção de mapas de coocorrência e análise temática. Os resultados indicam que tecnologias como aprendizado de máquina, redes neurais profundas, sistemas de informação geográfica (SIG), sensoriamento remoto, internet das coisas (IoT) e sistemas de apoio à decisão (SAD) vêm sendo amplamente utilizadas para previsão, detecção e resposta a eventos extremos. Conclui-se que os sistemas inteligentes representam uma alternativa promissora para fortalecer a resiliência de comunidades vulneráveis e promover uma gestão mais eficiente dos riscos climáticos.

Palavras-chave: sistemas inteligentes; enchentes; desastres naturais; mudanças climáticas; inteligência artificial.

ABSTRACT

The increasing intensity and frequency of extreme weather events, such as floods and landslides, require the development of effective technological strategies for their management. This study aims to identify intelligent systems applied to the confrontation of natural disasters, aiming to understand future challenges and trends. A bibliographic review was carried out using 243 scientific articles indexed in the Scopus database, of which 23 were selected based on thematic relevance and applicability criteria. Data analysis was complemented with the VOSviewer tool, which enabled the construction of co-occurrence maps and thematic analysis. The results indicate that technologies such as machine learning, deep neural networks, geographic information systems (GIS), remote sensing, internet of things (IoT), and decision support systems (DSS) have been widely used for forecasting, detection, and response to extreme events. It is concluded that intelligent systems represent a promising alternative to strengthen the resilience of vulnerable communities and promote more efficient climate risk management.

Keywords: intelligent systems; floods; natural disasters; climate change; artificial intelligence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área diretamente atingida pelos eventos extremos de precipitação ocorridos entre o final de abril e ao longo do mês de maio de 2024 no Rio Grande do Sul.	16
Figura 2 - Produção científica por ano	25
Figura 3 - Documentos por área do conhecimento.....	26
Figura 4 - Documentos por país	27
Figura 5 - Mapa de densidade de palavras-chave.....	29
Figura 6 - Overlay de autores por ano	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Informações relevantes dos 23 artigos resultantes da triagem.	31
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DEM	Modelo Digital de Elevação (Digital Elevation Model)
DSS	Sistema de Apoio à Decisão (Decision Support System)
DL	Deep Learning (Aprendizado Profundo)
Dr	Doutor
Dr ^a	Doutora
Esp	Especialista
GE	Gestão do Conhecimento
GIS	Geographic Information System (Sistemas de Informação Geográfica)
GI	Gestão da Informação
IA	Inteligência Artificial
IES	Instituição de Ensino Superior
InSAR	Interferometria de Radar de Abertura Sintética (Interferometric Synthetic Aperture Radar)
IoT	Internet das Coisas (Internet of Things)
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
KNN	K-Nearest Neighbors
LiDAR	Light Detection and Ranging
Me	Mestre
ML	Machine Learning (Aprendizado de Máquina)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PG&C	Perspectivas em Gestão & Conhecimento
PDF	Portable Document Format
PCCI	Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU)
RF	Random Forest
SBGC	Sociedade Brasileira de Gestão do Conhecimento
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
SCOPUS	Scopus (base de dados bibliográfica)

LISTA DE SÍMBOLOS

- @ Arroba
- © Copyright
- ® Marca registrada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....	14
3.1 Desafios da Sociedade Urbana	14
3.1.1 Mudanças Climáticas.....	14
3.1.2 Urbanização e Cidades	14
3.1.3 Enchentes: Definição e Casos no Brasil e no Mundo.....	15
3.1.4 Desastres Naturais Urbanos: Tragédia do Rio Grande do Sul.....	15
3.2 Gestão de Riscos de Desastres Naturais	17
3.3 Tecnologias para Gestão de Riscos de Desastres Naturais	18
4 METODOLOGIA.....	23
4.1 Percurso Metodológico.....	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
5.1 Análise dos artigos.....	25
5.2 Segunda filtragem.....	28
6 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o aumento da frequência e da intensidade dos eventos climáticos extremos — como enchentes, secas severas e deslizamentos de terra — tem gerado impactos socioambientais e econômicos cada vez mais severos, sobretudo em áreas urbanas densamente povoadas e em regiões vulneráveis. Esse cenário está intimamente relacionado às mudanças climáticas globais, intensificadas por atividades antrópicas como o desmatamento, a impermeabilização do solo e a expansão urbana desordenada (Tucci, 1997).

A gestão desses eventos impõe desafios consideráveis às autoridades públicas e à sociedade civil, exigindo não apenas uma atuação reativa, mas, sobretudo, a construção de estratégias de prevenção, mitigação e adaptação (Tucci, 1997). Nesse contexto, os avanços tecnológicos recentes têm se mostrado aliados fundamentais para o enfrentamento de desastres naturais (Camps-Valls et al., 2025), destacando-se os chamados sistemas inteligentes, capazes de integrar e processar grandes volumes de dados ambientais, climáticos e geoespaciais.

Tais sistemas envolvem o uso de tecnologias como inteligência artificial (IA), aprendizado de máquina, redes neurais profundas (deep learning), sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica (SIG), computação em nuvem e internet das coisas (IoT), entre outros. Sua aplicação permite monitorar eventos extremos em tempo real, prever sua ocorrência com maior precisão e auxiliar na tomada de decisão por meio de modelos preditivos e sistemas de apoio à decisão (SAD).

Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo principal identificar e analisar os sistemas inteligentes aplicados ao gerenciamento de desastres naturais causados por enchentes, com base em uma revisão bibliográfica sistematizada de publicações científicas indexadas na base de dados Scopus. A partir da filtragem e análise de estudos relevantes, busca-se compreender como as tecnologias têm sido empregadas, quais suas potencialidades, limitações e contribuições para a construção de estratégias eficazes de enfrentamento a eventos climáticos extremos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo identificar sistemas inteligentes aplicados ao enfrentamento de desastres naturais, visando compreender os desafios e as tendências futuras.

2.2 Objetivos Específicos

- Levantar aspectos relacionados aos principais desastres naturais e os desafios da gestão ambiental enfrentados na atualidade;
- Analisar os principais autores, países e áreas temáticas sobre sistemas inteligentes aplicadas à desastres naturais;
- Identificar as principais tecnologias utilizadas para prevenção, monitoramento e previsão de desastres naturais;
- Investigar as tendências atuais e futuras na aplicação de tecnologias voltadas à gestão de riscos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

3.1 Desafios da Sociedade Urbana

3.1.1 Mudanças Climáticas

As mudanças climáticas referem-se às alterações de longo prazo nos padrões climáticos da Terra, frequentemente atribuídas às atividades humanas e ao aumento das emissões de gases de efeito estufa (Poltozi & De Souza Pozzi, 2022). Essas mudanças estão diretamente relacionadas ao aumento da frequência e intensidade dos eventos climáticos extremos, como secas, furacões e enchentes, que podem causar deslocamento populacional em grande escala.

As mudanças climáticas são apontadas como um fator crucial para o aumento da frequência e intensidade de desastres naturais. Estudos indicam que a variabilidade climática tem levado ao aumento das temperaturas globais, afetando os regimes pluviométricos e contribuindo para eventos extremos como enchentes e secas (Andreoli & Kayano, 2007).

Venancio (2015) enfatiza que a crise hídrica não se restringe apenas à escassez de água, mas também à má gestão dos recursos disponíveis. No Brasil, a expansão urbana desordenada e o desmatamento agravam os impactos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas e o abastecimento hídrico.

Segundo os dados analisados por Poltozi e De Souza Pozzi (2022), entre 2016 e 2020, houve uma correlação significativa entre anomalias de temperatura e eventos extremos que resultaram no deslocamento forçado de milhares de pessoas ao redor do mundo. A partir de informações da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o estudo demonstra que regiões mais vulneráveis, como o sul da Ásia e partes da América Latina, já sofrem impactos severos decorrentes dessas mudanças.

3.1.2 Urbanização e Cidades

O crescimento urbano acelerado tem sido um fator determinante para o aumento de desastres ambientais, especialmente enchentes e problemas de drenagem. Conforme apontado por estudos de Jesus (2021), a infraestrutura verde surge como alternativa para minimizar esses problemas, promovendo soluções baseadas na natureza, como telhados verdes e áreas de infiltração.

Além disso, a urbanização sem planejamento adequado resulta na degradação ambiental e na perda de áreas permeáveis, agravando os impactos das enchentes (Tucci, 2001). O estudo de Silva et al. (2019) reforça que políticas públicas devem priorizar a integração entre crescimento urbano e preservação ambiental para evitar futuros desastres.

3.1.3 Enchentes: Definição e Casos no Brasil e no Mundo

As enchentes urbanas são fenômenos recorrentes que resultam da interação entre fatores naturais, como chuvas intensas, e a ocupação desordenada do solo. Segundo Tucci (2001), as enchentes podem ser classificadas em dois tipos principais: (i) enchentes em áreas ribeirinhas, onde a população ocupa o leito maior dos rios, e (ii) enchentes causadas pela urbanização, que aumentam a frequência e magnitude devido à impermeabilização do solo e a drenagem inadequada.

No Brasil, cidades como São Paulo e Rio de Janeiro enfrentam regularmente enchentes agravadas pela infraestrutura deficiente de drenagem urbana (Tucci, 2002). Em maio de 2024, o estado do Rio Grande do Sul enfrentou a maior tragédia climática de sua história, afetando 90,9% de seus municípios (452 dos 497 existentes). A enchente resultou na morte de 169 pessoas, deixando 2,1 milhões de afetados, 650 mil desalojados e 71.500 desabrigados. Além dos danos materiais, a crise atingiu mais de 3 mil estabelecimentos de saúde, comprometendo a resposta emergencial (Rizzotto, 2024).

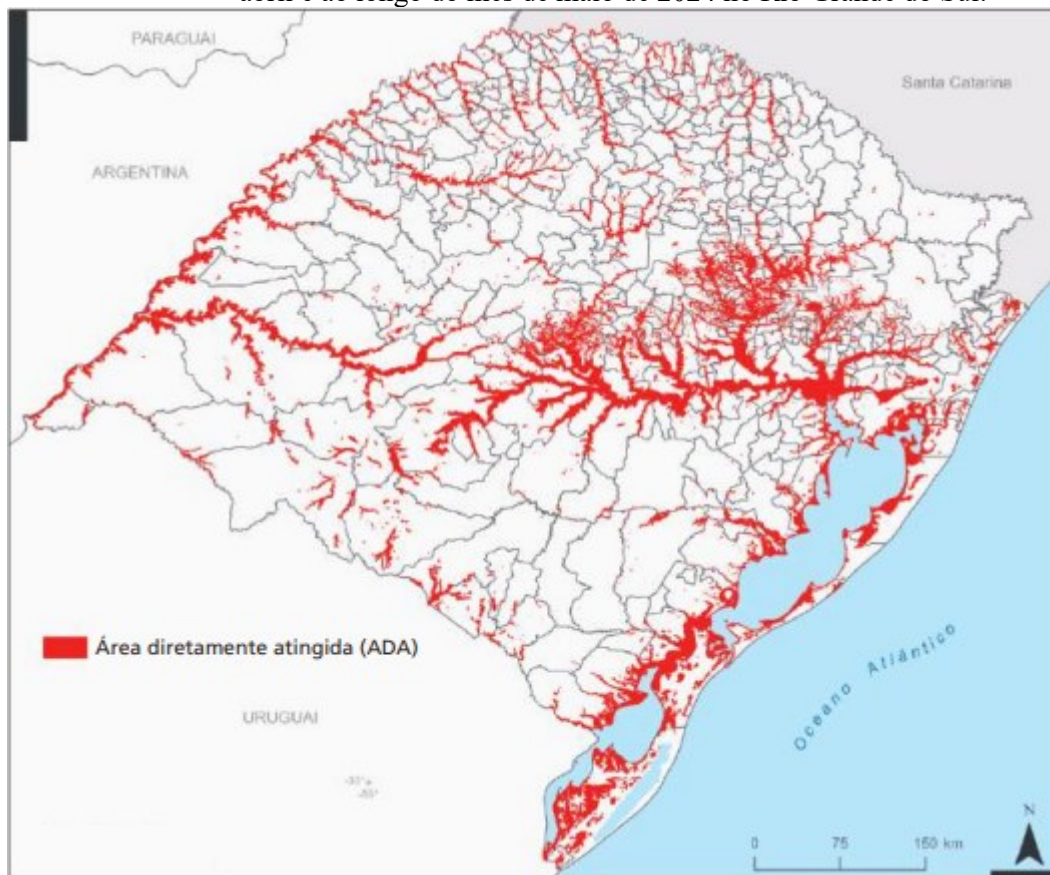
Casos semelhantes ocorreram em outros países, eventos como as inundações em Bangladesh e na Europa demonstram que a falta de planejamento urbano e as mudanças climáticas desempenham papéis centrais na intensificação desses eventos (Tucci, 2002). Nos primeiros meses de 2024, Quênia, Indonésia e Afeganistão sofreram com chuvas extremas, resultando em centenas de mortes e milhares de desabrigados (Rizzotto, 2024). Esses eventos reforçam a necessidade de políticas públicas eficazes para mitigação e adaptação climática, uma vez que a frequência e intensidade desses desastres aumentam devido ao aquecimento global.

3.1.4 Desastres Naturais Urbanos: Tragédia do Rio Grande do Sul

A tragédia climática no Rio Grande do Sul exemplifica a vulnerabilidade de áreas urbanas mal planejadas diante de eventos extremos. Segundo estudo de Noskoski e Gysi (2024), a falta de infraestrutura e a ocupação irregular em áreas de risco contribuíram para o agravamento dos impactos das inundações.

O desastre natural ocorrido no Rio Grande do Sul pode ser atribuído a uma combinação de fatores ambientais e falhas na gestão urbana e de risco. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), a rápida urbanização desordenada e a ocupação de áreas de risco sem planejamento adequado foram determinantes para a vulnerabilidade da população a eventos extremos (Figura 1). Além disso, falhas estruturais, como a insuficiência de infraestrutura de drenagem e a falta de políticas preventivas eficazes, agravaram os impactos das enchentes. O documento destaca que a ausência de um sistema integrado de gestão de riscos e a baixa articulação entre os níveis de governo comprometeram a resposta ao desastre, aumentando os danos socioeconômicos e humanos (IPEA, 2024).

Figura 1 - Área diretamente atingida pelos eventos extremos de precipitação ocorridos entre o final de abril e ao longo do mês de maio de 2024 no Rio Grande do Sul.



Fonte: Mapa Único do Plano Rio Grande (Rio Grande do Sul, 2024).

Outro estudo, publicado por Marengo (2024), aponta que os desastres naturais no Brasil são intensificados pela falta de políticas públicas voltadas à adaptação climática. As enchentes no estado gaúcho revelam um padrão comum em desastres urbanos: negligência na gestão do território e ausência de sistemas eficazes de resposta a emergências.

3.2 Gestão de Riscos de Desastres Naturais

A gestão de riscos de desastres naturais é um campo multidisciplinar que busca minimizar os impactos negativos de eventos perigosos na sociedade e no meio ambiente. No contexto urbano, um dos principais desafios é a gestão da drenagem urbana, definida como o conjunto de atividades, infraestrutura e instalações operacionais para o manejo das águas pluviais, desde a sua captação até a disposição final, incluindo medidas de controle de cheias e a manutenção preventiva das redes (Silva et al., 2024). A própria noção de risco, embora não explicitamente detalhada em todos os títulos, permeia a discussão sobre a necessidade de uma "cultura de gestão de riscos" para a mitigação de desastres (Maciel; Toniati; Ferreira, 2021).

A gestão de riscos de desastres atua em diferentes fases do ciclo de um evento adverso. Na fase de prevenção, o planejamento urbano e a implementação de medidas estruturais e não estruturais são essenciais. Tucci (1997), em seu artigo sobre o Plano Diretor de Drenagem Urbana, enfatiza que a prevenção é a forma mais eficaz e econômica de controlar os impactos das inundações em áreas urbanas, sendo o plano diretor uma ferramenta crucial para orientar o desenvolvimento e implementar medidas de controle. A construção de uma cultura de gestão de riscos (Maciel; Toniati; Ferreira, 2021) também se enquadra na prevenção, incentivando a adoção de práticas que reduzam a vulnerabilidade a desastres.

Durante a fase de controle, o foco é a minimização dos danos imediatos. Embora os artigos fornecidos não detalhem especificamente as ações de controle em tempo real durante um evento, a necessidade de planos de ação bem definidos e a coordenação entre diferentes serviços, como a saúde, destacada por Moura; Moura; Vieira (2021) no estudo de caso de Blumenau, são implícitas. Uma resposta eficaz durante um desastre depende de sistemas de alerta precoce, planos de evacuação e a capacidade de mobilização de recursos de emergência.

A fase de remediação ocorre após o desastre e envolve a recuperação das áreas afetadas e a implementação de medidas para evitar ou mitigar futuros eventos. O estudo de Maia (2007) sobre os impactos pluviais em Ribeirão Preto, ao analisar as consequências da urbanização e da gestão da drenagem, ressalta a importância de ações de remediação que abordem as causas da vulnerabilidade. A integração dos serviços de saúde na gestão de riscos (Moura; Moura; Vieira, 2021) também é fundamental na fase de recuperação, garantindo o atendimento às necessidades da população afetada.

Diversas ferramentas são utilizadas na gestão de riscos de desastres. O Plano Diretor de Drenagem Urbana, conforme detalhado por Tucci (1997), é uma ferramenta de planejamento essencial para o controle de inundações. O estudo de caso apresentado por Moura; Moura;

Vieira (2021) em Blumenau demonstra o desenvolvimento de uma ferramenta gerencial específica para integrar os serviços de saúde na gestão de riscos de desastres, ilustrando a aplicação de metodologias para aprimorar a preparação e a resposta a emergências em um setor específico. A análise de impactos pluviais em Ribeirão Preto, realizada por Maia (2007), representa outra ferramenta, um estudo aprofundado sobre a vulnerabilidade local que pode orientar a implementação de medidas de gestão de riscos mais eficazes. Tucci (2002) também discorre sobre o gerenciamento da drenagem urbana, complementando a discussão sobre as ferramentas e abordagens na área.

Finalmente, o Plano Nacional de Segurança Hídrica, abordado no Capítulo 4 da obra de Castro (2022), é um instrumento de política pública que visa garantir a segurança hídrica do país frente a diversos desafios, incluindo eventos hidrológicos extremos como secas severas e chuvas intensas que podem causar inundações. A sua concepção e implementação são cruciais para a gestão de riscos em nível nacional, buscando a resiliência dos sistemas hídricos diante das mudanças climáticas e da crescente demanda.

3.3 Tecnologias para Gestão de Riscos de Desastres Naturais

A gestão de riscos de desastres naturais tornou-se uma prioridade global em um cenário marcado pelo aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, como enchentes, deslizamentos de terra e secas, impulsionados pelas mudanças climáticas e pela urbanização desordenada. No Brasil, um país caracterizado por desigualdades regionais e vulnerabilidades socioeconômicas, a necessidade de estratégias eficazes para prevenir, preparar, responder e recuperar-se desses eventos é ainda mais premente. Nesse contexto, as tecnologias desempenham um papel essencial ao oferecer ferramentas que permitem o monitoramento, a previsão e a comunicação de informações críticas, contribuindo para a redução de danos humanos e materiais.

- **Sistemas de Monitoramento em Tempo Real**

Os sistemas de monitoramento em tempo real representam uma das bases tecnológicas para a gestão de riscos de desastres naturais, ao fornecer informações contínuas e atualizadas sobre variáveis ambientais críticas. Da Silva et al. (2024), em seu estudo sobre gestão de riscos urbanos, argumentam que a profissionalização da defesa civil depende diretamente da integração dessas tecnologias, como sensores de nível de água instalados em rios e reservatórios, pluviômetros automáticos que medem a precipitação em intervalos regulares e câmeras de vigilância que capturam imagens de áreas propensas a enchentes ou deslizamentos.

Esses dispositivos transmitem dados em tempo real para centros de controle, permitindo que as autoridades identifiquem rapidamente mudanças nas condições ambientais e tomem decisões informadas, como a evacuação de comunidades em risco ou o fechamento de vias afetadas. Um exemplo prático seria o uso de sensores em áreas urbanas densamente povoadas, como as regiões metropolitanas de São Paulo ou Rio de Janeiro, onde enchentes sazonais são agravadas pela ocupação irregular de encostas e margens de rios.

No entanto, a eficácia desses sistemas não está isenta de desafios. Da Silva et al. (2024) apontam que a implementação dessas tecnologias exige investimentos significativos em infraestrutura, incluindo a instalação e manutenção dos equipamentos, além de redes de comunicação robustas para garantir a transmissão contínua dos dados. Em regiões de baixa renda ou com infraestrutura precária, como muitas comunidades periféricas no Brasil, esses custos podem ser proibitivos. Além disso, a confiabilidade dos sistemas depende da qualidade dos equipamentos e da sua resistência a condições adversas, como chuvas intensas ou falhas de energia, que frequentemente acompanham os próprios desastres que se busca monitorar. Apesar dessas limitações, os sistemas de monitoramento em tempo real oferecem uma vantagem inegável: a capacidade de fornecer uma base de dados sólida para ações preventivas e reativas, reduzindo o tempo de resposta em emergências.

- Modelagem e Simulação

A modelagem e simulação constituem outra vertente tecnológica essencial, focada na previsão de desastres e no planejamento de respostas. Cui et al. (2021) exploram os desafios científicos associados à pesquisa sobre desastres naturais e defendem a necessidade de modelos computacionais avançados que integrem dados provenientes de fontes diversas, como imagens de satélite, sensores terrestres e até mesmo informações coletadas em redes sociais. Esses modelos permitem a criação de simulações detalhadas que projetam o comportamento de eventos como enchentes ou deslizamentos, considerando variáveis como topografia, padrões climáticos e densidade populacional. Por exemplo, um modelo poderia simular o impacto de uma chuva intensa em uma bacia hidrográfica específica, identificando áreas de maior risco de inundação e estimando o volume de água que atingiria comunidades ribeirinhas. Essas previsões possibilitam a elaboração de planos de contingência, como a construção de barreiras de contenção ou a definição de rotas seguras para evacuação.

Cui et al. (2021) destacam ainda que a modelagem pode ser utilizada para testar a eficácia de diferentes estratégias de mitigação, permitindo que gestores públicos priorizem investimentos com base em cenários simulados. No entanto, os autores reconhecem que a precisão dessas simulações depende diretamente da qualidade dos dados de entrada, que nem

sempre estão disponíveis em quantidade ou resolução suficiente, especialmente em países em desenvolvimento. No Brasil, onde muitas regiões carecem de redes de monitoramento abrangentes, a construção de modelos confiáveis pode ser comprometida pela escassez de informações históricas ou pela falta de integração entre bases de dados governamentais. Além disso, a utilização dessas tecnologias exige um nível elevado de capacitação técnica, o que pode ser um obstáculo em contextos em que a formação de profissionais é limitada. Apesar disso, a capacidade preditiva da modelagem e simulação as torna indispensáveis para uma gestão proativa de riscos, oferecendo uma visão antecipada dos impactos potenciais de desastres naturais.

- **Sistemas de Alerta Precoce**

Os sistemas de alerta precoce complementam as tecnologias de monitoramento e modelagem ao transformar dados em ações concretas de proteção. Botelho et al. (2024), em sua análise sobre a gestão de riscos de desastres no Brasil, enfatizam que esses sistemas são fundamentais para reduzir os danos causados por eventos como enchentes e deslizamentos, ao emitir avisos oportunos para a população e as autoridades. Baseados na integração de informações coletadas em tempo real e em previsões geradas por modelos, os sistemas de alerta utilizam algoritmos para identificar padrões que indicam a iminência de um desastre e, em seguida, acionam mecanismos de comunicação, como sirenes, mensagens de texto ou notificações em aplicativos móveis. Um exemplo citado por Botelho et al. (2024) é o uso de alertas em comunidades vulneráveis no Sudeste brasileiro, onde chuvas intensas frequentemente desencadeiam deslizamentos em áreas de encosta.

A implementação bem-sucedida desses sistemas, no entanto, enfrenta barreiras significativas. Botelho et al. (2024) observam que a eficácia dos alertas depende não apenas da qualidade tecnológica, mas também da capacidade de resposta da população e das instituições. Em muitas áreas rurais ou periféricas do Brasil, a ausência de infraestrutura de telecomunicações confiável dificulta a disseminação rápida das mensagens. Além disso, a falta de educação sobre como interpretar e reagir aos alertas pode levar a atrasos ou à subestimação dos riscos pela população. Outro ponto crítico é a coordenação entre diferentes níveis de governo, que, segundo os autores, é frequentemente fragmentada no Brasil, resultando em respostas desarticuladas. Apesar dessas dificuldades, os sistemas de alerta precoce têm o potencial de salvar vidas e minimizar perdas materiais, desde que acompanhados de investimentos em infraestrutura e conscientização comunitária.

- **Tecnologias de Comunicação**

As tecnologias de comunicação desempenham um papel estratégico ao conectar as autoridades às comunidades afetadas, promovendo o engajamento e a disseminação de informações críticas. Cunha et al. (2023), em seu estudo sobre a gestão de riscos e a construção de cidades resilientes, argumentam que ferramentas como redes sociais, aplicativos móveis e plataformas de mensagens instantâneas podem ser usadas para informar a população sobre riscos iminentes, compartilhar instruções de segurança e até coletar relatos em tempo real sobre as condições locais. Por exemplo, durante uma enchente, um aplicativo poderia enviar notificações sobre áreas alagadas, enquanto cidadãos poderiam usar a mesma plataforma para reportar incidentes, criando um fluxo bidirecional de informações. Esse tipo de abordagem fortalece a resiliência comunitária, permitindo que os moradores participem ativamente da gestão de riscos.

Todavia, Cunha et al. (2023) alertam que o acesso desigual à tecnologia representa um desafio significativo, especialmente em regiões socioeconomicamente desfavorecidas, onde muitos moradores não possuem smartphones ou conexão à internet. Outro problema identificado pelos autores é o risco de disseminação de informações falsas ou alarmistas, particularmente em redes sociais, o que pode gerar confusão e comprometer a resposta coletiva. Para superar essas limitações, é necessário desenvolver estratégias que combinem tecnologias digitais com métodos tradicionais, como alto-falantes ou rádio, e que priorizem a verificação de conteúdo. Apesar desses entraves, as tecnologias de comunicação têm a vantagem de alcançar rapidamente grandes contingentes populacionais, sendo uma ferramenta valiosa para ampliar a conscientização e a preparação diante de desastres.

- Contexto Brasileiro: Desafios e Oportunidades

No Brasil, a aplicação dessas tecnologias enfrenta um conjunto único de desafios e oportunidades, refletindo as características sociais, econômicas e geográficas do país. Da Silva et al. (2024) argumentam que a ausência de uma defesa civil profissional e bem equipada é um obstáculo central, limitando a capacidade de integrar sistemas de monitoramento, modelagem e alerta em uma estratégia coesa de gestão de riscos urbanos. Botelho et al. (2024) complementam essa visão ao apontar a fragmentação na governança de desastres, com falta de articulação entre os governos federal, estadual e municipal, o que dificulta a implementação de soluções tecnológicas em larga escala. Por outro lado, o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto e a disponibilidade crescente de dados abertos, como os fornecidos por satélites ou plataformas colaborativas, oferecem oportunidades para o desenvolvimento de soluções adaptadas às necessidades locais, conforme sugerido por Cui et al. (2021). A integração desses dados em modelos preditivos, por exemplo, poderia melhorar a gestão de

enchentes em áreas críticas como o Vale do Itajaí, em Santa Catarina, ou a Baixada Fluminense, no Rio de Janeiro.

As tecnologias para gestão de riscos de desastres naturais, como sistemas de monitoramento em tempo real, modelagem e simulação, sistemas de alerta precoce e tecnologias de comunicação, emergem como ferramentas indispensáveis para enfrentar os desafios impostos por eventos extremos. Estudos como os de Da Silva et al. (2024), Cui et al. (2021), Botelho et al. (2024) e Cunha et al. (2023) demonstram que essas soluções oferecem benefícios significativos, como a antecipação de desastres, a redução de perdas e o fortalecimento da resiliência comunitária. Contudo, sua implementação enfrenta barreiras como altos custos, dependência de infraestrutura confiável e necessidade de capacitação técnica, agravadas no Brasil por desigualdades regionais e fragilidades institucionais. Para que essas tecnologias alcancem seu pleno potencial, é essencial que futuras pesquisas priorizem o desenvolvimento de soluções acessíveis, a integração de dados multifonte e o envolvimento das comunidades, adaptando às inovações às realidades locais e promovendo uma gestão de riscos mais inclusiva e eficaz.

4 METODOLOGIA

A presente pesquisa é caracterizada como exploratória e qualitativa, com ênfase no levantamento de informações relevantes na literatura científica acerca do uso de tecnologias e sistemas inteligentes aplicados à gestão de riscos de desastres naturais. Este tipo de pesquisa visa aprofundar a compreensão sobre os conceitos, ferramentas e aplicações relacionadas ao tema, a partir da análise de estudos acadêmicos já publicados.

4.1 Percurso Metodológico

1. Levantamento Bibliográfico

A primeira etapa do trabalho consistiu no levantamento bibliográfico, realizado com o objetivo de reunir estudos e contribuições científicas que abordam as tecnologias emergentes e os sistemas inteligentes no contexto da gestão de riscos frente a eventos climáticos extremos. A busca foi realizada na base de dados Scopus, uma das mais relevantes plataformas de indexação científica multidisciplinar.

Para isso, foram utilizados os termos de pesquisa *Technologies*, *Intelligent Systems*, *Risk Management* e *Extreme Events*. Esses descritores foram combinados com operadores booleanos para ampliar os resultados e identificar publicações relevantes dentro da temática proposta. Vale ressaltar que esses termos foram combinados de forma associadas, utilizando o operador booleano “and”, para assim obter a conexão entre eles. A Scopus oferece um sistema de busca, em que os termos foram pesquisados em títulos, resumos e palavras-chaves.

2. Coleta e filtragem

A segunda etapa do percurso metodológico consistiu na coleta de dados e na filtragem dos materiais encontrados. Usando toda a base de dados da Scopus, todos os artigos dentro dos parâmetros e publicados até junho de 2025, foram selecionados. Com essa coleta, uma segunda filtragem foi realizada, utilizando os seguintes critérios: aderência ao tema e aplicabilidade dos resultados ao escopo da pesquisa. Assim, foram selecionados artigos que apresentam discussões teóricas e estudos de caso relacionados ao uso de tecnologias digitais, inteligência artificial, IoT e ferramentas geoespaciais na gestão de riscos de desastres naturais. Isso foi realizado a partir de uma leitura previa do artigo (título e resumo).

3. Análise de Dados

Para a análise dos dados, foi utilizada a ferramenta VOSviewer, que permite a construção de mapas de visualização científica. Por meio dela, foram gerados gráficos e mapas

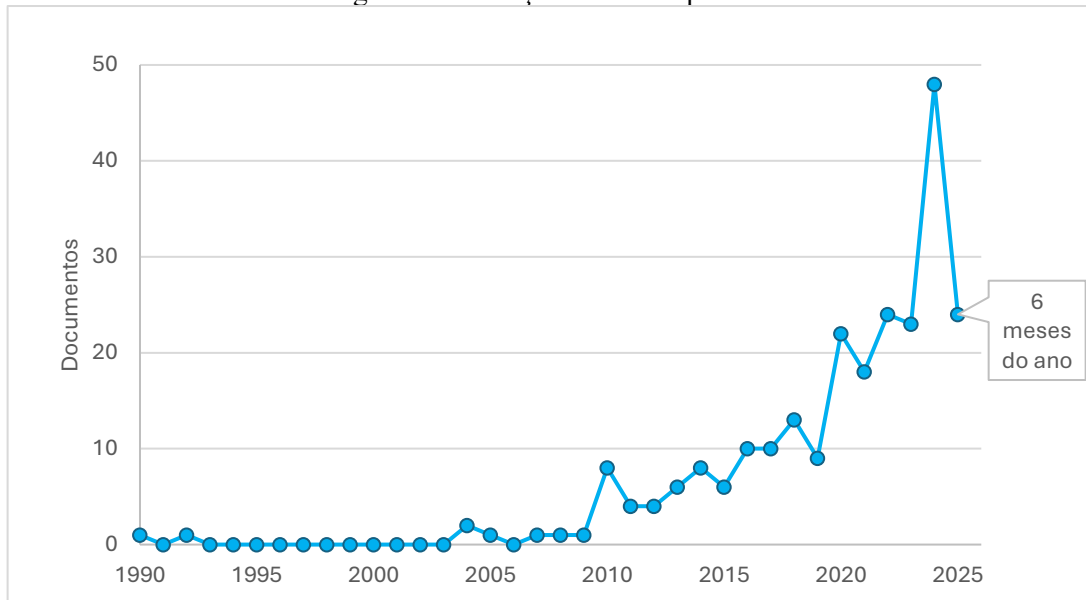
de coocorrência de termos e redes de autores, a fim de identificar as principais tendências, palavras-chave e relações temáticas no campo estudado. Essa etapa permitiu visualizar a densidade e estrutura das publicações científicas relacionadas ao tema.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise dos artigos

Baseado no levantamento feito na base de dados Scopus durante o mês de junho de 2025, utilizando os termos: *Technologies*, *Intelligent Systems*, *Risk Management* e *Extreme Events* juntamente com operadores booleanos, foram encontrados um total de **243** de artigos. Isso permitiu traçar um panorama abrangente sobre o estado atual das pesquisas relacionadas ao uso de sistemas inteligentes no gerenciamento de impactos provocados por eventos climáticos extremos, um tema que vem crescendo ao longo dos anos, como mostra os seguintes resultados.

Figura 2 - Produção científica por ano



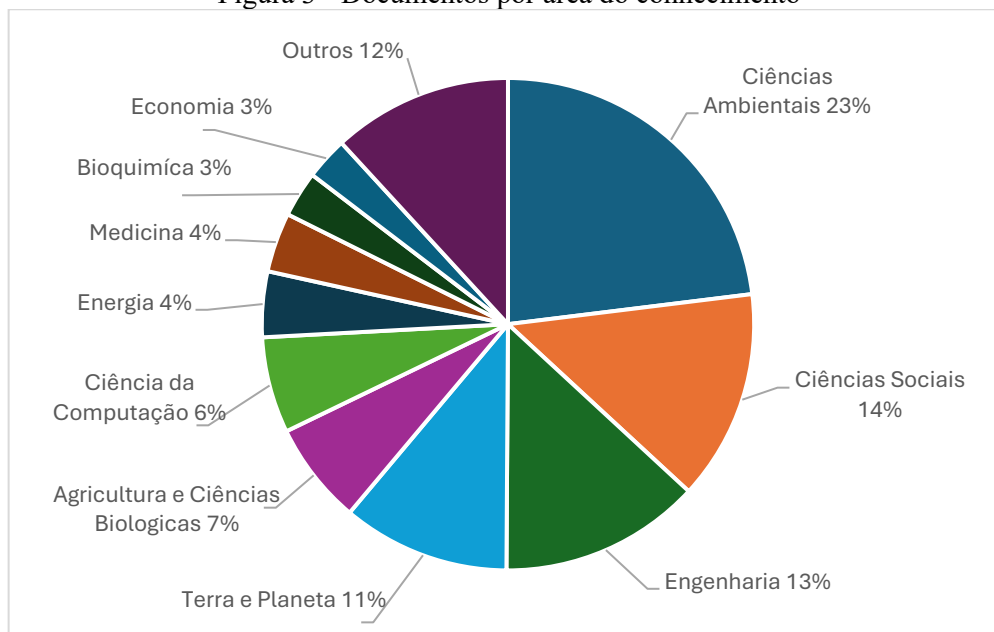
Fonte: Adaptado de Scopus (2025).

O gráfico de produção científica ao longo do tempo (Figura 2) revela um crescimento no número de publicações a partir do ano de 2010, com um salto notável a partir de 2018. O pico de publicações ocorreu em 2024, com cerca de 48 documentos, seguido por uma leve queda em 2025, a diminuição se justifica pela quantidade de publicações até a metade do ano. Desse modo, observa-se que esse crescimento reflete o aumento da preocupação global com os impactos das mudanças climáticas e a necessidade de soluções tecnológicas para enfrentamento de desastres naturais.

Esse aumento de interesse também pode estar correlacionado com o aumento da frequência e severidade de eventos extremos, além do avanço das tecnologias de inteligência artificial e análise de dados, que passaram a ser integradas às ciências ambientais. Esse cenário

configura um campo de estudo em franca expansão, com grande potencial de inovação e aplicação prática em políticas públicas e planejamento urbano.

Figura 3 - Documentos por área do conhecimento

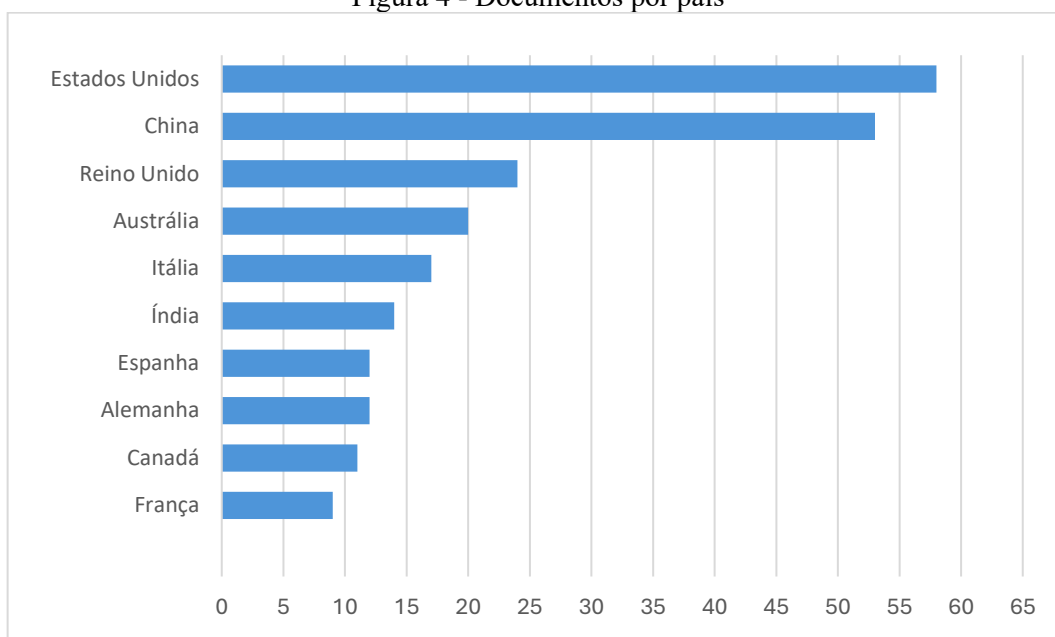


Fonte: Adaptado de Scopus (2025).

A análise por área do conhecimento (Figura 3) evidencia que a maioria das publicações está concentrada nas áreas de Ciências Ambientais (23,2%), Ciências Sociais (13,8%) e Engenharia (13,2%). Esses dados reforçam o caráter interdisciplinar do tema, que exige a integração de conhecimentos técnicos, sociais e ambientais para o desenvolvimento de soluções eficazes.

A presença expressiva da área de Ciência da Computação (6,3%) e Agricultura e Ciências Biológicas (6,7%) indica que os sistemas inteligentes utilizados na gestão de enchentes não apenas são desenvolvidos com base em algoritmos complexos, mas também consideram os impactos em ambientes naturais e produtivos. A presença de áreas como Medicina (3,9%) e Energia (4,3%) também aponta para ramificações importantes, como a análise de riscos à saúde e ao abastecimento energético, que podem ser afetados por inundações.

Figura 4 - Documentos por país



Fonte: Adaptado de Scopus (2025).

A Figura 4 apresenta os países ou territórios com predominância da produção científica na temática estudada. Pode-se perceber que as maiores quantidades de publicações são de países desenvolvidos, com Estados Unidos (cerca de 60 documentos) e China (cerca de 55). Em seguida, aparecem Reino Unido, Austrália e Itália, com contribuições moderadas, enquanto países como Índia, Alemanha e Espanha também se destacam.

Esse cenário indica que, apesar de os desastres naturais afetarem principalmente países em desenvolvimento, as soluções tecnológicas e os sistemas inteligentes estão sendo majoritariamente desenvolvidos em centros de pesquisa de países com maior infraestrutura científica e tecnológica. Isso evidencia a necessidade de fomentar políticas de internacionalização e transferência de tecnologia para que países mais vulneráveis também possam se beneficiar desses avanços.

Além disso, a ausência de países da América Latina entre os principais produtores de conhecimento científico sobre o tema aponta para uma lacuna relevante na pesquisa regional, o que justifica e fortalece a relevância deste trabalho no contexto brasileiro.

Com base nesse levantamento de dados na base Scopus, 243 artigos extraídos, evidencia um aumento significativo no interesse científico pelos sistemas inteligentes aplicados ao gerenciamento de impactos de eventos climáticos extremos. Observa-se um crescimento expressivo das publicações a partir do ano de 2015, com destaque para os últimos cinco anos. Tal crescimento associado à ampliação das aplicações de inteligência artificial (IA),

aprendizado de máquina (machine learning - ML) e aprendizado profundo (deep learning - DL) em diversas frentes do enfrentamento a desastres naturais.

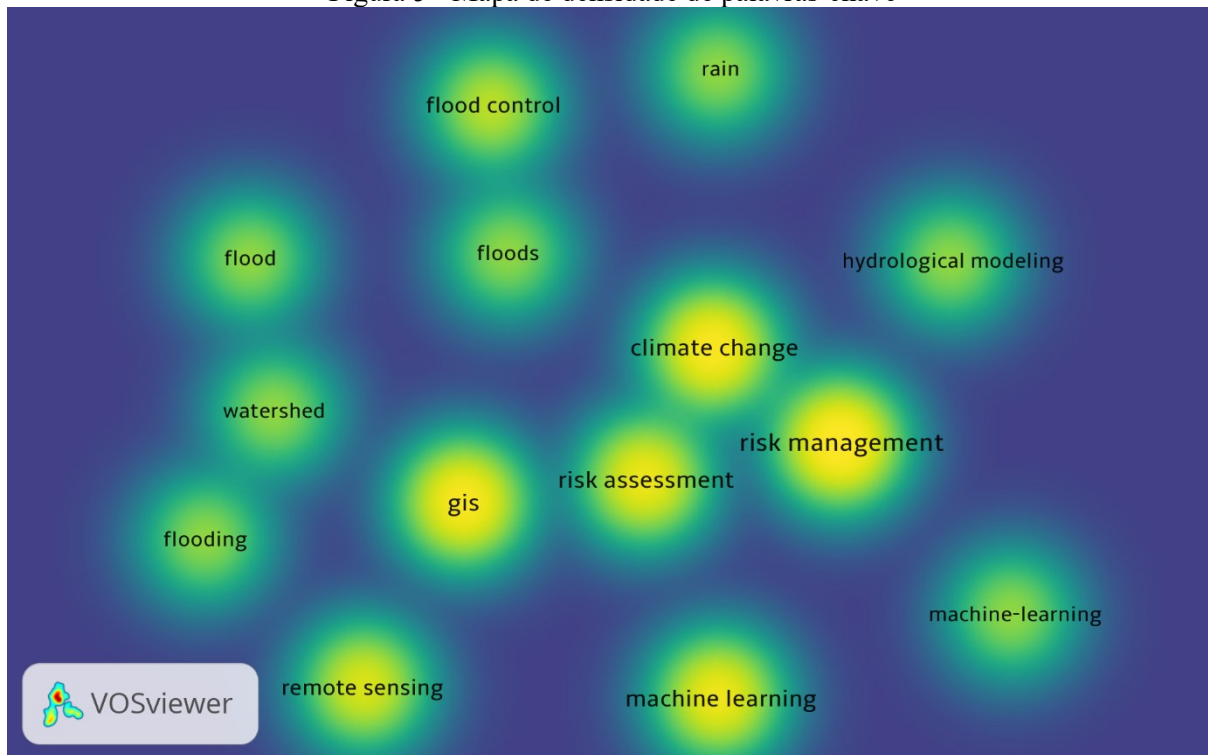
A distribuição por áreas do conhecimento evidencia predominância das engenharias, ciências ambientais e ciência da computação, refletindo a natureza interdisciplinar do campo. Essa tendência confirma a necessidade de integração entre o conhecimento técnico e a compreensão dos processos ambientais para a elaboração de soluções eficazes. Geograficamente, os países com maior produção acadêmica são Estados Unidos, China e Reino Unido, tanto a liderança de potências tecnológicas quanto a crescente preocupação de nações emergentes com a temática.

5.2 Segunda filtragem

Dentre os **243** artigos inicialmente coletados, foram selecionados **23** para uma análise aprofundada. A seleção desses artigos exigiu uma filtragem criteriosa com o objetivo de focar apenas nas publicações que apresentassem: (i) aderência a temática ao uso de sistemas inteligentes no contexto de desastres naturais; e (ii) aplicabilidade prática dos métodos, modelos ou sistemas propostos para o gerenciamento de riscos ambientais.

Após a aplicação desses critérios, os artigos foram analisados utilizando o software VOSviewer. Essa amostra filtrada foi considerada suficiente para gerar mapas densos e representativos de palavras-chave e autores relevantes, ao mesmo tempo em que assegurava foco, coerência e profundidade à análise, Figura 5 e Figura 6.

Figura 5 - Mapa de densidade de palavras-chave



Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 5 apresenta o mapa de densidade de palavras-chave gerado pelo VOSviewer evidenciando as temáticas mais recorrentes e centrais nos estudos analisados., tais como “risk management” (gestão de riscos), “climate change” (mudanças climáticas), “risk assessment” (avaliação de risco), “GIS”, “machine learning” (aprendizado de máquina) e “remote sensing” (sensoriamento remoto). Essas temáticas aparecem com alta densidade (zonas amarelas e claras), indicando que essas são as palavras-chave mais coocorrentes e, portanto, os temas mais discutidos na literatura recente.

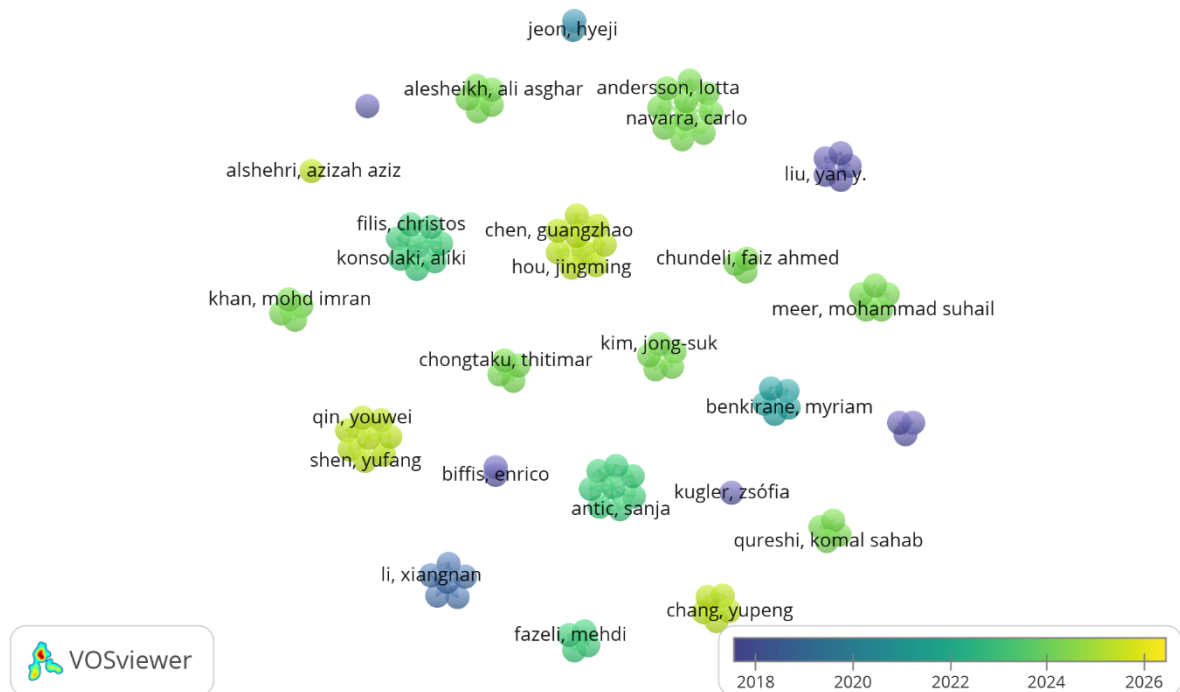
A forte presença do termo "risk management" como núcleo temático revela que uma parte significativa das pesquisas está voltada à identificação, avaliação e mitigação de riscos associados a eventos hidro meteorológicos extremos. Isso se alinha com o objetivo da pesquisa ao indicar que os sistemas inteligentes têm sido aplicados como ferramentas para apoiar a tomada de decisão em cenários de risco, promovendo respostas mais eficazes.

Além disso, a proximidade entre "machine learning" e "risk assessment" sugere uma integração metodológica, indicando que modelos preditivos baseados em aprendizado de máquina têm sido amplamente utilizados para avaliar a probabilidade e os impactos de enchentes. Esse achado é complementado pela presença de "remote sensing" e "GIS" (Sistemas de Informação Geográfica), que são tecnologias essenciais na coleta e análise de dados espaciais e temporais de áreas de risco. Isso reforça a ideia de que os sistemas inteligentes aplicados ao

gerenciamento de enchentes envolvem abordagens multidisciplinares, combinando sensoriamento remoto, modelagem hidrológica e inteligência computacional.

Palavras como “climate change” (mudança climática), “flood control” (controle de enchente) e “hydrological modeling” (modelagem hidrológica) aparecem como temas de suporte e contexto, refletindo a compreensão de que os eventos extremos não são isolados, mas parte de uma complexa interação entre fatores climáticos, geográficos e antrópicos. Portanto, os sistemas inteligentes emergem não apenas como instrumentos técnicos, mas também como parte de uma resposta adaptativa às mudanças climáticas.

Figura 6 - Overlay de autores por ano



Fonte: Autoria própria (2025).

Na Figura 6, o overlay de autores por ano, que oferece uma visão temporal das contribuições dos principais autores no campo. As colorações mais recentes (amarelo claro) destacam pesquisadores como Chen, Guangzhao, Hou, Jingming, Qin, Youwei e Shen, Yufang, cujos trabalhos estão alinhados com publicações mais atuais, datadas entre 2023 e 2025. Esses autores estão associados a *clusters* de redes colaborativas e demonstram atuação ativa e emergente no campo.

A presença de agrupamentos densos de autores indica uma forte articulação acadêmica e colaboração internacional, especialmente entre países como China, Estados Unidos e Reino

Unido, o que foi confirmado na análise dos gráficos por região (Figura 4). Essa colaboração é um indicativo do caráter global e interdisciplinar do problema das enchentes, exigindo esforços compartilhados e o desenvolvimento de soluções replicáveis em diferentes contextos socioambientais.

Notavelmente, autores mais antigos (coloridos em tons de azul ou roxo) como Biffis, Enrico e Kugler, Zsófia ainda mantêm relevância teórica, mas demonstram menor participação nos debates mais atuais, sugerindo a existência de uma renovação teórica e tecnológica no campo. Tal transição é típica de áreas em rápida evolução, como a aplicação de inteligência artificial em desastres naturais.

O Quadro 1 apresenta informações detalhadas sobre os artigos relacionados ao objetivo da presente pesquisa. Com base nesse levantamento foram identificados os principais desastres ambientais e os sistemas inteligentes associadas a eles, mostrando assim, como as diferentes tecnologias foram aplicadas para gestão preventiva, para previsão de desastres ambientais ou até mesmo para o mitigar os impactos.

Quadro 1 - Informações relevantes dos 23 artigos resultantes da triagem.

Título do Artigo	Autores	Ano	Destaques
Remote sensing for natural hazard mitigation and climate change impact assessment	Kugler Z.	2012	Este artigo discute o papel fundamental do sensoriamento remoto na mitigação de desastres naturais e na avaliação dos impactos das mudanças climáticas em escala global, regional e local. A tecnologia de satélites é apresentada como ferramenta indispensável para a monitorização contínua e sistemática da superfície terrestre , fornecendo dados em tempo quase real sobre uma ampla gama de variáveis ambientais — como temperatura, umidade do solo, cobertura do solo, nível de corpos d'água, entre outros.
Design and implementation of extreme weather and climate events	Liu L.	2015	Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de eventos climáticos extremos , com foco em sua arquitetura tecnológica, funcionamento em tempo real e capacidade preditiva . A proposta

(Continua)

Quadro 1 - Informações relevantes dos 23 artigos resultantes da triagem.

monitoring system			combina múltiplas fontes de dados, incluindo sensores meteorológicos em solo, redes de estações climáticas, APIs de serviços meteorológicos e plataformas baseadas em nuvem , para capturar e processar continuamente dados sobre eventos como enchentes, tempestades, ondas de calor e secas.
The Use of Geospatial Technologies in Flood Hazard Mapping and Assessment: Case Study from River Evros	Mentzafou A. et al.	2017	Este artigo explora o uso integrado de tecnologias geoespaciais , especialmente Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e dados de sensoriamento remoto , para o mapeamento e avaliação de risco de enchentes na bacia do Rio Evros, uma região frequentemente afetada por inundações transfronteiriças entre Grécia, Turquia e Bulgária.
Satellite Data and Machine Learning for Weather Risk Management and Food Security	Biffis E. et al.	2017	Neste artigo, é demonstrado como o “aprendizado de máquina” pode ser usado para analisar dados de satélite e identificar índices climáticos ideais em nível de pixel que podem ser usados para informar o projeto de transferências de risco e a quantificação dos benefícios da adoção de tecnologias de produção resilientes.
GeoFlood: Large-Scale Flood Inundation Mapping Based on High-Resolution Terrain Analysis	Zheng X. et al.	2018	O artigo apresenta o sistema GeoFlood , uma abordagem baseada em análise de terreno de alta resolução para o mapeamento em larga escala de áreas inundadas. A tecnologia empregada combina modelagem hidrológica com dados topográficos de alta precisão (como os provenientes de sensores LiDAR) para simular o

(Continuação)

Quadro 1 - Informações relevantes dos 23 artigos resultantes da triagem.

			escoamento da água e prever zonas de inundação com elevada acurácia espacial.
Flood risk assessment of global watersheds based on multiple machine learning models	Li X. et al.	2019	Este estudo utiliza múltiplos modelos de aprendizado de máquina para realizar uma avaliação sistemática do risco de inundação em bacias hidrográficas ao redor do mundo. Os autores aplicam algoritmos como Random Forest (RF) , Support Vector Machine (SVM) e Gradient Boosting Machine (GBM) , comparando seu desempenho na classificação e previsão de áreas suscetíveis a inundações. As variáveis de entrada incluem dados topográficos, climáticos, hidrológicos e de uso da terra, o que demonstra uma abordagem multivariada e robusta.
GIS based assessment and design for areas vulnerable to soil disasters: Case study of Namhyeun-dong, South Korea	Jeon H. et al.	2020	O artigo propõe uma abordagem baseada em Sistemas de Informação Geográfica (GIS) para avaliar e projetar soluções em áreas suscetíveis a desastres naturais relacionados ao solo, como movimentos de massa, deslizamentos e inundações induzidas por saturação do solo . Além disso, a plataforma foi empregada para o desenvolvimento de modelos de simulação espacial , que orientam a definição de medidas preventivas e de infraestrutura adaptativa.
Contribution of remote sensing and GIS to analysis of the risk of flooding in the Zat basin	Bouaida J. et al.	2021	O artigo demonstra como a integração de sensoriamento remoto (remote sensing) e Sistemas de Informação Geográfica (GIS) pode ser utilizada de forma eficaz para analisar o risco de enchentes na bacia hidrográfica do rio Zat, localizada no Alto Atlas, Marrocos. O sensoriamento remoto foi aplicado para obter

(Continuação)

Quadro 1 - Informações relevantes dos 23 artigos resultantes da triagem.

(High Atlas-Morocco)			imagens de satélite que permitem observar variações espaciais e temporais no uso e ocupação do solo, além de identificar mudanças nas áreas de cobertura vegetal e superfícies impermeáveis — fatores diretamente ligados à ocorrência de enchentes. Já o GIS foi utilizado para compilar, sobrepor e analisar diversos tipos de dados geográficos (declividade, hidrografia, solo, geologia), resultando em mapas de risco que indicam com precisão as zonas mais vulneráveis.
Spatio-temporal variation of meteorological drought and its relation with temperature and vegetation condition indices using remote sensing and satellite imagery in Marvdasht city	Mardani R. et al.	2023	Este estudo aplica intensivamente tecnologias de sensoriamento remoto e imagens de satélite para monitorar e analisar a variação espaço-temporal de secas meteorológicas na cidade de Marvdasht, Irã. A pesquisa utiliza índices derivados de imagens de satélite , como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e o TCI (Temperature Condition Index) , para avaliar a relação entre a cobertura vegetal, a temperatura da superfície e a ocorrência de secas.
Mapping of Inland Excess Water Using Geographical Information System and High-Resolution Satellite Images: A Case Study of SREM, Serbia	Salvai A. et al.	2023	Este artigo apresenta uma abordagem integrada utilizando imagens de satélite de alta resolução e Sistemas de Informação Geográfica (GIS) para mapear áreas afetadas por acúmulo excessivo de água no interior (inland excess water) na região de Srem, na Sérvia. A metodologia combina técnicas de análise espacial automatizada com dados orbitais , permitindo a identificação precisa das áreas com maior propensão à saturação do solo e

(Continuação)

Quadro 1 - Informações relevantes dos 23 artigos resultantes da triagem.

			alagamentos não fluviais — geralmente causados por chuvas intensas e drenagem insuficiente.
Using UAS-Aided Photogrammetry to Monitor and Quantify the Geomorphic Effects of Extreme Weather Events in Tectonically Active Mass Waste-Prone Areas: The Case of Medicane Ianos	Kotsi E. et al.	2023	Este estudo emprega fotogrametria auxiliada por Sistemas Aéreos Não Tripulados (UAS - Unmanned Aerial Systems) para monitorar e quantificar os efeitos geomorfológicos causados por eventos climáticos extremos em áreas com alta propensão a movimentos de massa, como deslizamentos. A pesquisa tem como foco o ciclone mediterrânico Medicane Ianos, que impactou fortemente regiões da Grécia em 2020. A tecnologia de UAS permite a captura de imagens aéreas de alta resolução em curtos intervalos de tempo, possibilitando a geração de modelos digitais de elevação (DEMs) e ortofotos com precisão centimétrica. Esses dados são processados por meio de técnicas de fotogrametria digital , o que permite realizar análises comparativas antes e depois do evento climático para identificar erosões, deslizamentos e mudanças topográficas significativas.
Optimizing urban flood management: enhancing urban drainage system efficiency under extreme rainfall events	Ma T. et al.	2024	Este artigo propõe uma abordagem tecnológica para otimização da gestão urbana de enchentes , focando na melhoria da eficiência de sistemas de drenagem urbana frente a eventos de chuva extrema. O estudo utiliza modelagem hidrológica computacional para simular o comportamento do escoamento superficial em diferentes cenários de precipitação intensa, identificando pontos críticos de acúmulo de água e falhas no sistema de drenagem. As simulações

(Continuação)

Quadro 1 - Informações relevantes dos 23 artigos resultantes da triagem.

			são realizadas por meio de softwares especializados em engenharia hidráulica , que integram dados geoespaciais, topografia urbana detalhada e séries históricas de chuvas.
Artificial intelligence in support of weather warnings and climate adaptation	Neset T.-S. et al.	2024	Este artigo investiga o papel da inteligência artificial (IA) no aprimoramento dos sistemas de alerta meteorológico e na formulação de estratégias de adaptação às mudanças climáticas. A pesquisa aborda como modelos de IA, especialmente redes neurais profundas e algoritmos de aprendizado supervisionado, estão sendo integrados aos sistemas meteorológicos para aumentar a precisão na previsão de eventos extremos , como tempestades severas e enchentes repentinas.
Stacking Ensemble Technique Using Optimized Machine Learning Models with Boruta–XGBoost Feature Selection for Landslide Susceptibility Mapping: A Case of Kermanshah Province, Iran	Yousefi Z. et al.	2024	O artigo aplica uma abordagem avançada de aprendizado de máquina em conjunto (stacking ensemble) combinada com seleção de variáveis baseada em Boruta–XGBoost , para mapear a suscetibilidade a deslizamentos de terra na província de Kermanshah, Irã. A técnica de <i>stacking</i> integra múltiplos modelos preditivos (como Random Forest, SVM, KNN, entre outros) de forma hierárquica, onde os resultados de diversos classificadores são combinados por um modelo final (“meta-model”) para aumentar a precisão das previsões.
Integrating Remote Sensing and Ground-Based Data for	Chongtaku T. et al.	2024	Este estudo apresenta uma metodologia que integra dados de sensoriamento remoto com informações obtidas por estações meteorológicas terrestres , aplicando

(Continuação)

Quadro 1 - Informações relevantes dos 23 artigos resultantes da triagem.

Enhanced Spatial–Temporal Analysis of Heatwaves: A Machine Learning Approach			algoritmos de aprendizado de máquina para realizar análises espaço-temporais avançadas sobre ondas de calor. Embora o foco principal seja a análise de calor extremo, a abordagem tecnológica discutida é altamente relevante para o contexto de eventos climáticos extremos em geral, incluindo enchentes.
Application of Satellite and Geospatial technology for flash flood mapping over Himalayan with reference to Dharamshala in Himachal Pradesh, India during July 2021	Nagamani K. et al.	2024	Este artigo apresenta a aplicação de tecnologias satelitais e geoespaciais para o mapeamento de enchentes repentinas (flash floods) ocorridas na região montanhosa de Dharamshala, no Himachal Pradesh, Índia, durante o mês de julho de 2021. A pesquisa utiliza imagens obtidas por satélites de alta resolução (como Sentinel e Landsat) combinadas com ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (GIS) para identificar rapidamente as áreas afetadas, analisar os impactos e entender os mecanismos desencadeadores da enchente.
Advanced floodplain mapping: HEC-RAS and ArcGIS pro application on Swat River	Ullah M.I. et al.	2024	Este artigo apresenta uma metodologia avançada de mapeamento de planícies de inundação utilizando a integração do modelo hidrodinâmico HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) com o software de geoprocessamento ArcGIS Pro , aplicada ao Rio Swat, no Paquistão. A tecnologia permite modelar com precisão o comportamento hidráulico do rio em cenários de cheia, simulando níveis de água, velocidades de fluxo e extensão da área alagada para diferentes períodos de retorno.

(Continuação)

Quadro 1 - Informações relevantes dos 23 artigos resultantes da triagem.

Flood Risk Assessment, Mapping and Planning by GIS-Decision Support Systems: A Case Study in Kerala State, India	Ramamurthy A. et al.	2024	Este artigo apresenta uma aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (GIS) integrados a Sistemas de Suporte à Decisão (DSS - Decision Support Systems) para avaliação de risco, mapeamento e planejamento de enchentes no estado de Kerala, na Índia — uma região frequentemente afetada por inundações severas devido à topografia montanhosa e eventos climáticos extremos.
Revolutionizing the future of hydrological science: Impact of machine learning and deep learning amidst emerging explainable AI and transfer learning	Maity R. et al.	2024	Este artigo oferece uma análise abrangente sobre o papel transformador das tecnologias de aprendizado de máquina (Machine Learning) e aprendizado profundo (Deep Learning) na ciência hidrológica, com foco nos recentes avanços em IA explicável (Explainable AI - XAI) e aprendizado por transferência (Transfer Learning) . A pesquisa destaca como essas tecnologias vêm revolucionando a capacidade de modelagem, previsão e compreensão de fenômenos hidrológicos complexos, como enchentes, secas e variabilidade climática.
Rapid urban inundation prediction method based on numerical simulation and AI algorithm	Pan X. et al.	2025	Este artigo propõe um método inovador de previsão rápida de alagamentos urbanos , combinando simulações numéricas hidrodinâmicas com algoritmos de inteligência artificial (IA) . A abordagem visa fornecer previsões em tempo quase real para apoiar sistemas de alerta precoce em áreas urbanas altamente vulneráveis a eventos de chuva intensa.
Active Gully Head Erosion	Yuan S. et al.	2025	Este artigo investiga os efeitos da erosão em cabeceiras de ravinas ativas na região do

(Continuação)

Quadro 1 - Informações relevantes dos 23 artigos resultantes da triagem.

(Conclusão)

Rates Characteristics on the Loess Plateau: InSAR-Based Calculation and Response to Extreme Rainfall			Planalto de Loess, na China, utilizando tecnologia de Interferometria de Radar de Abertura Sintética (InSAR) para calcular taxas de erosão e analisar sua resposta a eventos de chuva extrema. O InSAR é uma técnica avançada de sensoriamento remoto baseada em imagens de radar capturadas por satélites, que permite medir deslocamentos milimétricos da superfície terrestre com alta precisão e frequência temporal.
Utilizing Remote Sensing and GIS to Study Natural Disasters "Volcanoes" and Their Impact on Climate Change	Alshehri A.A.	2025	Este artigo explora o uso combinado de sensoriamento remoto (remote sensing) e Sistemas de Informação Geográfica (GIS) para investigar os impactos das erupções vulcânicas nos desastres naturais e nas mudanças climáticas. Embora o foco principal seja a atividade vulcânica, a metodologia tecnológica aplicada tem grande relevância para o monitoramento e avaliação de eventos climáticos extremos , como enchentes, devido à sua capacidade de captar alterações ambientais em tempo real e em escala global.
Automatic segmentation of urban flood extent in video image with DSS- YOLOv8n	Wan J. et al.	2025	Este artigo apresenta uma solução baseada em inteligência artificial e visão computacional para a segmentação automática de áreas inundadas em ambientes urbanos, utilizando imagens de vídeo em tempo real. O modelo proposto, DSS-YOLOv8n , é uma versão otimizada da arquitetura YOLO (<i>You Only Look Once</i>), especificamente adaptada para detecção e segmentação de enchentes urbanas em vídeos .

Fonte: Autoria própria (2025).

A partir do Quadro 1 e da análise aprofundada dos 23 artigos, foi possível identificar um conjunto diverso de tecnologias aplicadas, organizadas nas seguintes categorias principais:

- **Aprendizado de máquina e aprendizado profundo:** utilizadas para previsão de enchentes, identificação de áreas vulneráveis e classificação de riscos. Algoritmos como Random Forest, XGBoost e redes neurais convolucionais têm sido aplicados com elevada acurácia na detecção de padrões complexos em grandes volumes de dados ambientais e meteorológicos.
- **Sensoriamento remoto e imagens de satélite:** amplamente empregados no monitoramento da cobertura do solo, identificação de regiões alagadas e análise da evolução temporal de eventos extremos. Quando combinadas com técnicas de ML, essas imagens permitem uma interpretação automatizada e precisa de áreas de risco.
- **Sistemas de Informação Geográfica (SIG ou GIS):** utilizados para integração e análise espacial de variáveis climáticas, topográficas e demográficas. Permitem a construção de mapas de risco e a simulação de cenários, apoiando decisões em planejamento urbano e rural.
- **Sistemas de apoio à decisão (DSS):** ferramentas baseadas em IA que interpretam dados de múltiplas fontes e fornecem recomendações automáticas para a gestão de desastres. Esses sistemas são essenciais para aumentar a rapidez e a eficiência na tomada de decisão em situações críticas.
- **Internet das Coisas (IoT):** sensores inteligentes instalados em campo (rios, estações meteorológicas, zonas urbanas) conectam-se a plataformas digitais para envio em tempo real de dados de chuvas, nível de água, umidade do solo, entre outros. Essa integração amplia a capacidade de antecipação de eventos extremos.
- **Computação em nuvem e computação de borda:** utilizadas para armazenar, processar e analisar grandes volumes de dados climáticos com rapidez e eficiência. Plataformas como o Google Earth Engine permitem a geração de mapas de risco em escala global, enquanto a computação de borda garante respostas ágeis mesmo em condições adversas de conectividade.

Tais abordagens tecnológicas demonstraram-se eficazes para gerar conhecimento preditivo, estruturar respostas eficientes e fortalecer a resiliência de comunidades expostas a eventos climáticos extremos. A convergência entre dados espaciais, técnicas de IA e

informações meteorológicas tem permitido desenvolver sistemas de gestão cada vez mais precisos, proativos e adaptáveis às necessidades locais.

6 CONCLUSÃO

Os desastres ambientais mais recorrentes identificados nesta pesquisa incluíram enchentes urbanas, deslizamentos de terra e episódios de seca extrema. Esses eventos têm se intensificado em razão de fatores como o aumento da impermeabilização do solo e da densidade populacional em áreas urbanas, associados às mudanças climáticas que elevam a frequência e a severidade de chuvas intensas e de períodos de estiagem prolongados. A urbanização desordenada, aliada à insuficiente infraestrutura de drenagem e à ocupação de áreas de risco, agrava os impactos das inundações, enquanto o desmatamento e as alterações nos padrões pluviométricos intensificam processos erosivos e de instabilidade do solo.

Verificou-se que a tendência é a construção de plataformas integradas e automatizadas, capazes de operar em tempo real e com alto grau de confiabilidade. Ainda assim, persistem desafios relacionados à escassez de dados em algumas regiões, à falta de padronização entre sistemas e à necessidade de capacitação técnica para a operacionalização de tais ferramentas. Países como Estados Unidos, China e Reino Unido, lideram a produção científica com publicações concentradas em Engenharia, Ciências Ambientais e Ciência da Computação.

No contexto brasileiro, faz-se necessário o fortalecimento da infraestrutura tecnológica, o incentivo à pesquisa aplicada e a elaboração de políticas públicas que priorizem soluções baseadas em evidências tecnológicas. A adoção de sistemas inteligentes no gerenciamento de riscos climáticos não é apenas uma opção viável, mas uma necessidade urgente diante do aumento da frequência e intensidade desses eventos.

A revisão da literatura, associada à análise de dados bibliográficos e de conteúdo dos artigos, revelou o avanço e a consolidação dos sistemas inteligentes como ferramentas fundamentais para o enfrentamento de eventos climáticos extremos. Tecnologias como aprendizado de máquina, sensoriamento remoto, GIS e IoT utilizadas em previsões meteorológicas, mapeamento espacial de riscos, segmentação de inundação e apoio à decisão. Todas têm sido empregadas de forma complementar, permitindo maior capacidade de antecipação, intervenção rápida e planejamento estratégico.

Por fim, observa-se uma tendência crescente de integração das tecnologias inteligentes em plataformas unificadas que operam em tempo real e fornecem suporte geoespacial dinâmico. Essa evolução aponta para um futuro no qual as cidades e regiões vulneráveis contarão com sistemas cada vez mais proativos e autônomos de gerenciamento de riscos, capazes de antecipar cenários adversos por meio de IA explicável e de promover respostas adaptativas às mudanças climáticas. A consolidação dessa tendência dependerá do

investimento contínuo em infraestrutura tecnológica, da capacitação técnica de profissionais e da articulação de políticas públicas que incentivem a adoção de soluções baseadas em evidências científicas.

REFERÊNCIAS

- AL SHEHRI, A. A. Utilizing remote sensing and GIS to study natural disasters "volcanoes" and their impact on climate change. **Journal of Environmental and Earth Sciences**, v. 7, n. 1, p. 573-587, 2025. DOI: 10.30564/jees.v7i1.7828.
- ANDREOLI, R.; KAYANO, M. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, n. 1, p. 64-73, 2007.
- BIFFIS, E.; CHAVEZ, E. Satellite data and machine learning for weather risk management and food security. **Risk Analysis**, v. 37, n. 8, p. 1508-1521, 2017. DOI: 10.1111/risa.12847.
- BOUAIDA, J.; WITAM, O.; IBNOUSSINA, M.; DELMAKI, A. E. F.; BENKIRANE, M. Contribution of remote sensing and GIS to analysis of the risk of flooding in the Zat basin (High Atlas-Morocco). **Natural Hazards**, v. 108, n. 2, p. 1835-1851, 2021. DOI: 10.1007/s11069-021-04758-x.
- BOTELHO, R. G.; SILVA, C. V.; SANTOS, I. C. Gestão do risco de desastres no Brasil. **Territorium**, n. 31, p. 137-155, 2024.
- CHONGTAKU, T.; TAPARUGSSANAGORN, A.; MIYAZAKI, H.; TSUSAKA, T. W. Integrating remote sensing and ground-based data for enhanced spatial-temporal analysis of heatwaves: a machine learning approach. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 14, n. 10, p. 3969, 2024. DOI: 10.3390/app14103969.
- CUI, P.; ZHANG, J.; YANG, Z.; CHEN, X.; YOU, Y.; LI, D. Scientific challenges of research on natural hazards and disaster risk. **Geography and Sustainability**, v. 2, n. 3, p. 216-223, 2021. DOI: 10.1016/j.geosus.2021.09.001.
- CUNHA, A. S.; SANTOS, I. C.; SILVA, C. V.; BOTELHO, R. G. A gestão de risco para redução de desastres naturais e a construção de cidades resilientes. 2023. Disponível em: <http://www.bdt.d.uerj.br/handle/1/19473>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- DA SILVA, M. F.; MOLDERO, L. S.; TRINDADE, L. H.; BARBOSA, A. P. Urban risk management: the need for a professional civil defense for smart and resilient cities. **Aracê**, v. 6, n. 4, p. 18585-18599, 2024. DOI: 10.56238/arev6n4-442. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/2572>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- DA SILVA CAVALCANTE, I. B.; DA SILVA, D. F. Período de retorno de eventos extremos em Alagoas e suas causas climáticas. **Revista Mineira de Recursos Hídricos**, v. 2, p. e021007, 2021.
- HAJJI, H.; SALVAI, A.; SANTRAC, N.; STAJIC, M.; ANTIC, S.; ZEMUNAC, R.; BENKA, P.; BEZDAN, A.; VRANESEVIC, M. Mapping of inland excess water using geographical information system and high-resolution satellite images: a case study of SREM, Serbia. **Water**, v. 15, n. 5, p. 1-17, 2023.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Boletim Regional, Urbano e Ambiental. Rio de Janeiro: Ipea, n. 33, dez. 2024. ISSN 2177-1847. DOI: 10.38116/brua33.

IPCC. Relatório de Avaliação sobre Mudanças Climáticas. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicy_makers.pdf. Acesso em: 16 out. 2024.

JEON, H.; KANG, J. GIS based assessment and design for areas vulnerable to soil disasters: case study of Namhyeun-dong, South Korea. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 6, p. 2516, 2020. DOI: 10.3390/su12062516.

JESUS, B. N. Infraestrutura verde: diretrizes para amenizar os danos das enchentes e dos alagamentos através do uso dos espaços livres. 2021.

KOTSI, E.; VASSILAKIS, E.; DIAKAKIS, M.; MAVROULIS, S.; KONSOLAKI, A.; FILIS, C.; LOZIOS, S.; LEKKAS, E. Using UAS-aided photogrammetry to monitor and quantify the geomorphic effects of extreme weather events in tectonically active mass waste-prone areas: the case of Medicane Ianos. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 13, n. 2, p. 812, 2023. DOI: 10.3390/app13020812.

KUGLER, Z. Remote sensing for natural hazard mitigation and climate change impact assessment. **Idojaras**, v. 116, n. 1, p. 21-38, 2012.

LI, X.; YAN, D.; WANG, K.; WENG, B.; QIN, T.; LIU, S. Flood risk assessment of global watersheds based on multiple machine learning models. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 8, p. 1654, 2019. DOI: 10.3390/w11081654.

LIU, L. Design and implementation of extreme weather and climate events monitoring system. **Open Cybernetics and Systemics Journal**, v. 9, n. 1, p. 2424-2429, 2015. DOI: 10.2174/1874110X01509012424.

MACIEL, G. F.; TONIATI, A. L.; FERREIRA, F. O. Cultura de gestão de riscos na mitigação de desastres ‘naturais’. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 2, p. 671-686, 2021. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0056. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2021.002.0056>. Acesso em: 28 jul. 2025.

MA, T.; KIM, J.-S.; JUN, C.; MOON, Y.-I.; MOON, H. Optimizing urban flood management: enhancing urban drainage system efficiency under extreme rainfall events. **Journal of Hydroinformatics**, v. 26, n. 11, p. 2704-2719, 2024. DOI: 10.2166/hydro.2024.067.

MAIA, D. C. Impactos pluviais na área urbana de Ribeirão Preto-SP. 2007.

MAITY, R.; SRIVASTAVA, A.; SARKAR, S.; KHAN, M. I. Revolutionizing the future of hydrological science: impact of machine learning and deep learning amidst emerging explainable AI and transfer learning. **Applied Computing and Geosciences**, v. 24, p. 100206, 2024. DOI: 10.1016/j.acags.2024.100206.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; ALVES, L. M.; NOBRE, C. A.; PAIAN, O. O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. **Estudos Avançados**, v. 38, n. 112, p. 203-228, 2024.

MARDANI, R.; MONTASERI, H.; FAZELI, M.; KHALILI, R. Spatio-temporal variation of meteorological drought and its relation with temperature and vegetation condition indices using remote sensing and satellite imagery in Marvdasht city. **Water and Soil Management and Modeling**, v. 3, n. 3, p. 72-89, 2023. DOI: 10.22098/mmws.2022.11541.1140.

MENTZAFU, A.; MARKOGIANNI, V.; DIMITRIOU, E. The use of geospatial technologies in flood hazard mapping and assessment: case study from River Evros. **Pure and Applied Geophysics**, v. 174, n. 2, p. 679-700, 2017. DOI: 10.1007/s00024-016-1433-6.

MOURA, S. R. S.; MOURA, J. M. B. M.; VIEIRA, R. Ferramenta gerencial para integração dos serviços de saúde na gestão de riscos de desastres: o caso de Blumenau, SC. **Saúde em Debate**, v. 44, p. 159-175, 2021.

NAGAMANI, K.; MEER, M. S.; MISHRA, A. K.; SHERIFF, M. R.; NAJAR, M. A. Application of satellite and geospatial technology for flash flood mapping over Himalayan with reference to Dharamshala in Himachal Pradesh, India during July 2021. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 16, n. 2, p. 534-542, 2024. DOI: 10.31018/jans.v16i2.5436.

NESET, T.-S.; VROTSOU, K.; ANDERSSON, L.; NAVARRA, C.; SCHÜCK, F.; EDSTRÖM, M. M.; RYDHOLM, C.; VILLARO, C. G.; KUCHER, K.; LINNÉR, B.-O. Artificial intelligence in support of weather warnings and climate adaptation. **Climate Risk Management**, v. 46, p. 100673, 2024. DOI: 10.1016/j.crm.2024.100673.

NOSKOSKI, L. E. C.; GYSI, E. Desafios climáticos e desastres naturais no Rio Grande do Sul: urgência de ações integradas e sustentáveis. **Epitaya E-books**, v. 1, n. 76, p. 41-46, 2024. DOI: 10.47879/ed.ep.2024486p41. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/1082>. Acesso em: 28 jul. 2025.

PAN, X.; HOU, J.; CHEN, G.; LI, D.; ZHOU, N.; IMRAN, M.; LI, X.; QIAO, J.; GAO, X. Rapid urban inundation prediction method based on numerical simulation and AI algorithm. **Journal of Hydrology**, v. 647, p. 132334, 2025. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024.132334.

POLTOZI, N. M.; DE SOUZA POZZI, G. Mudanças climáticas: a conexão entre os eventos extremos e o deslocamento humano. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 49, n. 1, 2022.

RAHUL, P. R.; NAIR, A. S.; RAJEEV, M. Flood risk assessment, mapping and planning by GIS-decision support systems: a case study in Kerala State, India. **OIDA International Journal of Sustainable Development**, v. 17, n. 3, p. 47-66, 2024.

RIZZOTTO, M. L. F.; COSTA, A. M.; LOBATO, L. V. C. Crise climática e os novos desafios para os sistemas de saúde: o caso das enchentes no Rio Grande do Sul/Brasil. **Saúde em Debate**, v. 48, p. e141ED, 2024. DOI: 10.1590/2358-28982024141EDP.

SALVAI, A.; SANTRAC, N.; STAJIC, M.; ANTIC, S.; ZEMUNAC, R.; BENKA, P.; BEZDAN, A.; VRANESEVIC, M. Mapping of inland excess water using geographical information system and high-resolution satellite images: a case study of SREM, Serbia.

Ecological Chemistry and Engineering S, v. 30, n. 3, p. 343-355, 2023. DOI: 10.2478/eces-2023-0037.

SENA, J. P. O.; MORAES NETO, J. M.; LUCENA, D. B. Índice de vulnerabilidade geral para municípios do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, p. 310-321, 2021. DOI: 10.26848/rbgf.v14.1.p310-321. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/247795>. Acesso em: 28 jul. 2025.

TUCCI, C. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.

TUCCI, C. E. M. Aspectos institucionais do controle das inundações urbanas. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**, v. 2, p. 405-419, 2001.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5-27, 2002.

ULLAH, M. I.; QURESHI, K. S.; RAUF, A. U.; SHAH, L. A. Advanced floodplain mapping: HEC-RAS and ArcGIS pro application on Swat River. **Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture**, v. 15, n. 3, p. 245-258, 2024. DOI: 10.1007/s43995-024-00054-4.

VENANCIO, D. F.; SILVA, A. B.; SILVA, F. M.; OLIVEIRA, J. C.; SANTOS, R. M. A crise hídrica e sua contextualização mundial. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 1-13, 2015.

WAN, J.; XUE, F.; SHEN, Y.; SONG, H.; SHI, P.; QIN, Y.; YANG, T.; WANG, Q. J. Automatic segmentation of urban flood extent in video image with DSS-YOLOv8n. **Journal of Hydrology**, v. 655, p. 132974, 2025. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2025.132974.

YOUSEFI, Z.; ALESHEIKH, A. A.; JAFARI, A.; TORKTATARI, S.; SHARIF, M. Stacking ensemble technique using optimized machine learning models with Boruta-XGBoost feature selection for landslide susceptibility mapping: a case of Kermanshah Province, Iran. **Information (Switzerland)**, v. 15, n. 11, p. 689, 2024. DOI: 10.3390/info15110689.

YUAN, S.; FAN, W.; JIANG, C.; CHANG, Y.; ZHENG, W. Active gully head erosion rates characteristics on the Loess Plateau: InSAR-based calculation and response to extreme rainfall. **Land Degradation and Development**, v. 36, n. 1, p. 249-264, 2025. DOI: 10.1002/ldr.5358.

ZHANG, Y.; WANG, C.; LIU, J. Rapid urban inundation prediction method based on numerical simulation and AI algorithm. **Sustainability**, v. 15, n. 13, p. 10433, 2023.

ZHENG, X.; MAIDMENT, D. R.; TARBOTON, D. G.; LIU, Y. Y.; PASSALACQUA, P. GeoFlood: large-scale flood inundation mapping based on high-resolution terrain analysis. **Water Resources Research**, v. 54, n. 12, p. 10,013-10,033, 2018. DOI: 10.1029/2018WR023.

