

## **SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE CRISES (SGCS): FERRAMENTAS ESSENCIAIS PARA A MITIGAÇÃO E RESPOSTA EFICAZ A DESASTRES DE ENCHENTES**

Thiago Virícius Herbert Post<sup>1</sup>, Renan Alex Wiethölter<sup>2</sup>, Vinicius Meyer<sup>3</sup>

**Resumo:** O crescimento na ocorrência e gravidade de fenômenos climáticos extremos, como as enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul, evidenciou a fragilidade dos sistemas de resposta a desastres no Brasil, marcada pela falta de integração dos dados e problemas de coordenação entre as instituições. O objetivo deste artigo é examinar as restrições dos sistemas atuais e sugerir uma arquitetura para Sistemas de Gerenciamento de Crises (SGCs) de Terceira Geração, com ênfase na interoperabilidade e na inteligência de dados. A abordagem utilizada envolveu uma pesquisa aplicada de caráter exploratório e descritivo, mesclando revisão bibliográfica e estudo de caso, resultando na proposição de uma arquitetura de referência para um SGC de Terceira Geração e na modelagem conceitual de suas funcionalidades. Os principais resultados indicam que a integração de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e computação em nuvem, estruturadas em um Data Lake centralizado, permitem a criação de uma Consciência Situacional Unificada (CSU), superando a ineficiência dos sistemas legados. Conclui-se que a implementação de SGCs integrados e a adoção de governança de dados mandatória são condições essenciais para a transição de uma gestão de crises reativa para uma abordagem proativa, capaz de mitigar danos e preservar vidas frente aos desafios hidrometeorológicos crescentes.

**Palavras-chave:** Sistemas de Gerenciamento de Crises, Arquitetura de Software, Enchentes.

---

1 Estudante de Engenharia de Software - Universidade do Vale do Taquari - Univates. E-mail: thiago.post@universo.univates.br

2 Estudante de Engenharia de Software - Universidade do Vale do Taquari - Univates. E-mail: renan.wietholter@universo.univates.br

3 Docente de Engenharia de Software - Universidade do Vale do Taquari - Univates. E-mail: vinimeyer@univates.br

# CRISIS MANAGEMENT SYSTEMS (CMS): ESSENTIAL TOOLS FOR MITIGATION AND EFFECTIVE RESPONSE TO FLOOD DISASTERS

**Abstract:** The growing frequency and severity of extreme weather events, such as the 2024 floods in Rio Grande do Sul, have highlighted the fragility of Brazil's disaster response systems, marked by a lack of data integration and coordination issues among institutions. This article aims to examine the limitations of current systems and propose an architecture for Third-Generation Crisis Management Systems (CMS), with an emphasis on interoperability and data intelligence. The approach used involved applied research of an exploratory and descriptive nature, combining a literature review with a case study, resulting in the proposition of a reference architecture for a Third-Generation CMS and the conceptual modeling of its functionalities. The main findings indicate that integrating technologies such as the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and cloud computing, structured within a centralized Data Lake, enables the creation of a Unified Situational Awareness (USA), overcoming the inefficiencies of legacy systems. It is concluded that the implementation of integrated CMSs and the adoption of mandatory data governance are essential conditions for transitioning from reactive crisis management to a proactive approach capable of mitigating damage and preserving lives in the face of increasing hydrometeorological challenges.

**Keywords:** Crisis Management Systems, Software Architecture, Floods.

## 1 INTRODUÇÃO

O fenômeno das enchentes representa uma das mais graves ameaças globais à sustentabilidade humana e ambiental. Em um cenário de aumento da frequência e intensidade dos desastres hidrometeorológicos que, em 2013, foram responsáveis por 48,2% de todos os grandes desastres mundiais (Guha-sapir; Hoyois; Below, 2014) e com a projeção de que o aquecimento global afetará crescentemente a população por meio de riscos de inundação (Hirabayashi *et al.*, 2013; IPCC, 2022), a gestão de riscos exige uma reorientação urgente. Os impactos vão além das fatalidades, englobando perdas econômicas severas, com inundações induzidas pelo clima causando danos bilionários acumulados nas últimas décadas (Noaa, 2024; WMO, 2021).

Diante dessa complexidade crescente, exacerbada em países em desenvolvimento pela rápida urbanização e crescimento populacional, pesquisadores e frameworks internacionais – como o *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction* (UNDRR, 2015) – advogam por uma transição de abordagens lineares e reativas para metodologias holísticas, abrangentes e integradas. É respondendo a essa necessidade que este trabalho analisa o Sistema de Gerenciamento de Crises (SGC) integrado e baseado em dados, avaliando seu papel como uma ferramenta estratégica e indispensável para a gestão de desastres.

O foco deste estudo reside na investigação de como um SGC integrado atua como uma plataforma vital, capaz de unificar processos e dados entre

diferentes órgãos governamentais (como a Defesa Civil) e tecnologias avançadas, incluindo Sensores, GIS, Inteligência Artificial (IA) e modelos meteorológicos (Meier *et al.*, 2023).

A integração é examinada aqui como o mecanismo fundamental que permite o compartilhamento ágil de informações, acelerando a mobilização de recursos e a evacuação. A análise busca evidenciar a efetividade de tal sistema em todas as quatro fases do ciclo de gestão de desastres – mitigação, preparação, resposta e recuperação (Moe; Pathranarakul, 2006) – verificando como a informatização dos processos pode acelerar a entrega de recursos e ações de socorro.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

No contexto da gestão de crises decorrentes de enchentes, compreender os riscos e as dinâmicas envolvidas exige abordagens capazes de integrar múltiplos fatores e atores sociais. Nesse sentido, Awah *et al.* (2024) ressaltam que as inundações configuram uma ameaça global crescente, demandando um modelo de gerenciamento fundamentado em sistemas integrados e holísticos.

Para evitar ambiguidades conceituais, os principais termos empregados neste trabalho são definidos operacionalmente a seguir, estabelecendo seus limites técnicos, organizacionais e institucionais. Consciência Situacional Unificada (CSU) é definida, neste estudo, como o estado informacional compartilhado produzido por um Sistema de Gerenciamento de Crises, no qual dados heterogêneos – sensores ambientais, modelos meteorológicos, bases governamentais e relatos humanos – são integrados, normalizados e apresentados em uma visão geoespacial única e sincronizada, acessível simultaneamente por todos os atores institucionais envolvidos.

A CSU não corresponde a um mapa ou painel isolado, mas a um ambiente operacional comum que sustenta decisões estratégicas, táticas e operacionais ao longo do ciclo do desastre. No plano técnico, a CSU depende de três componentes mínimos:

- Um *Data Lake* capaz de ingerir e armazenar dados de múltiplas fontes;
- Mecanismos de fusão e atualização em tempo real; e
- Uma interface GIS dinâmica que representa esses dados de forma especializada.

Interoperabilidade obrigatória, no contexto deste trabalho, refere-se à capacidade técnica e institucional de sistemas de diferentes órgãos trocarem dados de forma automática, padronizada e contínua. Ela é entendida aqui em três dimensões:

- **Técnica:** uso de APIs padronizadas, formatos de dados abertos e protocolos de comunicação compatíveis;

- **Organizacional:** integração entre níveis municipal, estadual e federal;
- **Legal-institucional:** existência de normas que obriguem o compartilhamento de dados críticos em situações de desastre.

Assim, a interoperabilidade não é tratada como uma opção tecnológica, mas como um requisito estrutural de sistemas críticos.

Governança federal de dados é definida neste trabalho como o conjunto de regras, padrões e responsabilidades que regulam a produção, o compartilhamento, o uso e a auditoria dos dados de crise entre os entes da federação. Seu escopo está limitado aos dados hidrometeorológicos, operacionais e logísticos relevantes para gestão de desastres, não abrangendo dados pessoais sensíveis da população.

Na dimensão técnica, a governança se materializa por meio de esquemas de dados comuns, metadados e controle de versões. Na dimensão organizacional, implica a definição de papéis institucionais claros (quem produz, quem valida, quem consome). Na dimensão legal, pressupõe normas de cooperação federativa que garantam o fluxo de dados durante crises.

O estudo desenvolvido pelos autores evidencia que, embora o uso do pensamento sistêmico na gestão de riscos de enchentes venha se expandindo nas últimas décadas, o avanço ainda ocorre de forma desigual entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, especialmente no continente africano. Essa disparidade é atribuída a limitações técnicas, restrições de recursos financeiros e à insuficiência de cooperação interdisciplinar entre instituições de pesquisa e órgãos governamentais.

Os autores defendem a necessidade de transição de metodologias lineares para abordagens sistêmicas, em consonância com o Marco de Sendai para a Redução de Riscos de Desastres (2015–2030) e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), visando aprimorar a compreensão das interconexões entre fatores físicos, sociais e econômicos que influenciam a ocorrência e a gestão das enchentes. Nessa perspectiva, o pensamento sistêmico permite identificar interdependências, retroalimentações e comportamentos dinâmicos nos sistemas socioambientais, proporcionando subsídios para a formulação de políticas públicas mais eficazes e resilientes no enfrentamento de desastres naturais.

Nesse cenário de necessidade de abordagens sistêmicas, o SGC transcende o papel de repositório de dados para se tornar a espinha dorsal de uma gestão de riscos integrada e alinhada ao Marco de Sendai. Sua importância reside na unificação de processos e esferas governamentais, convertendo dados brutos em consciência situacional açãoável. Diante de eventos extremos mais frequentes, a plataforma assegura a velocidade e a coordenação multissetorial necessárias para a sobrevivência humana ao acelerar o compartilhamento de informações.

O SGC opera como um sistema ciber-físico-social, integrando infraestrutura física, plataforma digital e camada social para reduzir o tempo entre a detecção, a análise e a ação. Essa eficiência temporal maximiza a janela de segurança para a população e gestores, transformando dados brutos em decisões críticas. Através de dashboards dinâmicos, o sistema ultrapassa a visualização passiva, oferecendo ferramentas de apoio à decisão que modelam cenários e sugerem cursos de ação baseados na severidade e no tempo de impacto.

## 2.1 Consciência Situacional Unificada (CSU)

A Consciência Situacional constitui o elemento central dos Sistemas de Gerenciamento de Crises (SGCs), pois representa a capacidade de perceber, compreender e projetar a evolução de um evento crítico em tempo real. No contexto de desastres hidrometeorológicos, Perrut e Brito (2022) demonstram que a consciência situacional é composta por três dimensões fundamentais: percepção, compreensão e projeção, as quais devem ser operacionalizadas por meio de sistemas de informação geográfica e cartografia rápida.

Neste trabalho, adota-se o conceito de Consciência Situacional Unificada (CSU) como a capacidade do SGC de integrar, em uma única visão operacional compartilhada, dados provenientes de múltiplas fontes heterogêneas, sensores IoT, modelos meteorológicos, bases governamentais e relatos humanos, transformando-os em informação acionável para a tomada de decisão.

A CSU, portanto, não se limita à visualização de mapas, mas corresponde a um estado informational dinâmico, continuamente atualizado, que suporta decisões estratégicas, táticas e operacionais ao longo de todo o ciclo do desastre.

## 2.2 Evolução dos Sistemas de Gerenciamento de Crises: da Primeira à Terceira Geração

A literatura sobre gestão de desastres evidencia uma evolução progressiva dos Sistemas de Gerenciamento de Crises (SGCs), acompanhando o avanço das tecnologias da informação, da disponibilidade de dados e das demandas institucionais por coordenação interorganizacional. Embora diferentes autores utilizem terminologias distintas, neste trabalho propõe-se uma classificação conceitual em três gerações de SGCs, definida a partir de critérios funcionais e arquiteturais.

Os SGCs de primeira geração caracterizam-se por soluções fragmentadas, normalmente implementadas por órgãos individuais, com foco em tarefas específicas, como emissão de alertas, registro de ocorrências ou monitoramento pontual. Exemplos incluem sistemas de notificação via telefone ou SMS, como os descritos por Franceschini *et al.* (2020), e aplicações móveis de alerta, como o Enchentes SOS (Castro *et al.*, 2024). Esses sistemas operam de forma reativa,

com bases de dados locais, pouca ou nenhuma integração interinstitucional e ausência de visão situacional unificada.

A segunda geração emerge com a incorporação de sensores IoT, sistemas GIS e plataformas de análise em tempo real, conforme demonstrado por Hoang e Kang (2024) e Perrut e Brito (2022). Esses sistemas permitem maior automação, previsão e visualização espacial, porém permanecem limitados por silos organizacionais, falta de governança de dados e integração parcial entre agências. A consciência situacional existe, mas é local ou institucionalmente restrita, o que explica as falhas observadas em eventos complexos, como as enchentes do Rio Grande do Sul em 2024 (Schabbach *et al.*, 2024).

Neste trabalho, define-se como SGC de Terceira Geração uma plataforma de gerenciamento de crises que atende simultaneamente aos seguintes critérios:

1. Arquitetura baseada em *Data Lake*, capaz de integrar dados heterogêneos (IoT, meteorologia, órgãos públicos, relatos humanos) em um repositório unificado;
2. Consciência Situacional Unificada (CSU), fornecendo uma visão operacional compartilhada, em tempo real, entre todas as instituições e níveis de governo;
3. Uso sistemático de Inteligência Artificial e modelos preditivos, permitindo não apenas detectar eventos, mas antecipar cenários;
4. Governança de dados mandatória, com padronização de APIs, interoperabilidade obrigatória e regras institucionais de compartilhamento de informação;
5. Operação orientada à decisão, integrando visualização geoespacial, comunicação multicanal e rastreamento logístico em uma única plataforma.

Diferentemente das gerações anteriores, o SGC de Terceira Geração não é apenas um conjunto de sistemas integrados, mas uma infraestrutura nacional de informação crítica, projetada para eliminar a fragmentação institucional e transformar dados em decisões coordenadas e tempestivas. Essa classificação estabelece o fundamento conceitual para a arquitetura proposta neste trabalho, que visa operacionalizar esses princípios por meio de uma plataforma em nuvem orientada à CSU.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

A crescente frequência e intensidade de enchentes no Brasil e no mundo evidenciam a necessidade de sistemas eficientes de monitoramento, alerta e resposta a desastres naturais. Nesse contexto, diversos estudos exploram soluções tecnológicas voltadas para a mitigação de impactos, desde sistemas automatizados de notificação até plataformas integradas de análise em tempo real. A revisão de trabalhos relacionados permite compreender abordagens

já aplicadas e identificar lacunas no desenvolvimento de Sistemas de Gerenciamento de Crises (SGCs).

### **3.1 Sistema de alerta para possíveis cheias utilizando voip e telefonia convencional, para defesa civil do município de Caucaia-Ce, Brasil**

Franceschini *et al.* (2020) destacam a importância de sistemas tecnológicos de alerta precoce no contexto da mitigação de desastres naturais, evidenciando como soluções baseadas em comunicação digital podem aprimorar a atuação da Defesa Civil. O estudo descreve o desenvolvimento do Slapvoip, um sistema automatizado de alerta para cheias que utiliza a tecnologia Voice over IP (VoIP) para o envio de SMS, e-mails e ligações telefônicas automáticas.

Essa abordagem, de baixo custo e fácil implementação, permitiu à Defesa Civil de Caucaia-CE antecipar ações de resposta, alertar a população em risco e otimizar o planejamento das medidas de mitigação. O sistema demonstrou que a integração entre dados meteorológicos e plataformas de comunicação pode criar uma rede de resposta rápida, elemento essencial em um Sistema de Gerenciamento de Crises (SGC) voltado à prevenção e redução dos impactos de enchentes. Além disso, reforça a necessidade de fomentar uma cultura de prevenção baseada em informação, monitoramento contínuo e interoperabilidade entre órgãos públicos e tecnológicos.

### **3.2 A systematic analysis of systems approach and flood risk management research: trends, gaps, and opportunities**

Hoang e Kang (2024) apresentam o desenvolvimento de um protótipo de sistema de monitoramento e alerta precoce de enchentes, concebido para aprimorar a capacidade de resposta a desastres hidrológicos em regiões vulneráveis. O sistema proposto integra sensores de nível d'água e precipitação com uma plataforma digital de análise em tempo real, permitindo a coleta contínua de dados ambientais e o envio automático de alertas às autoridades e comunidades locais.

Essa integração entre hardware, software e comunicação remota demonstra a relevância de soluções baseadas em Internet das Coisas (IoT) para o fortalecimento de Sistemas de Gerenciamento de Crises (SGCs). A pesquisa evidencia que o uso de tecnologias inteligentes e conectadas contribui não apenas para a mitigação dos impactos imediatos das enchentes, mas também para o planejamento estratégico de longo prazo, otimizando ações preventivas e de emergência.

### **3.3 As enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul e a capacidade de resposta dos municípios às inundações**

Schabbach *et al.* (2024) analisam as severas enchentes ocorridas no Rio Grande do Sul em 2024, destacando a importância da capacidade institucional e tecnológica dos municípios na resposta a desastres naturais. O estudo evidencia que a insuficiência de planos integrados de gestão de crises e a falta de infraestruturas tecnológicas adequadas comprometeram significativamente a eficiência das ações emergenciais e de mitigação.

Os autores apontam que, embora existam esforços locais de monitoramento e alerta, a ausência de Sistemas de Gerenciamento de Crises (SGCs) estruturados e interconectados entre os níveis municipal, estadual e federal resulta em respostas fragmentadas e lentas diante de eventos extremos. Assim, a pesquisa reforça que a construção de SGCs baseados em dados, interoperáveis e suportados por políticas públicas de prevenção é essencial para reduzir perdas humanas e materiais em cenários de enchentes recorrentes.

### **3.4 Cartografia rápida: uma abordagem das principais variáveis nos desastres de inundação e modelagem conceitual da consciência situacional**

Os desastres de inundação figuram entre os mais recorrentes e devastadores no território brasileiro, exigindo mecanismos eficazes de gerenciamento e resposta. Segundo Perrut e Brito (2022), a gestão adequada desses eventos é essencial para reduzir perdas humanas e prejuízos socioeconômicos, sendo a produção tempestiva de geoinformação um elemento-chave para subsidiar a tomada de decisão em situações de crise.

Nesse contexto, a integração de Sistemas de Gerenciamento de Crises (SGCs) com tecnologias de cartografia rápida e com a modelagem conceitual da consciência situacional possibilita otimizar a atuação das equipes de defesa civil. Essa abordagem garante maior agilidade e precisão nas ações de mitigação e resposta a enchentes.

A modelagem em UML proposta pelos autores evidencia a importância das dimensões de percepção, compreensão e projeção de cenários críticos, reforçando o papel dos SGCs como ferramentas estratégicas na coordenação de esforços interinstitucionais durante desastres naturais.

### **3.5 Protótipo de aplicativo para alerta de cheias: enchentes SOS**

O uso de soluções tecnológicas móveis tem se mostrado uma ferramenta eficaz para o monitoramento e a mitigação de desastres naturais, especialmente em regiões vulneráveis a enchentes. Castro, Figueiredo e Nascimento (2024) destacam que a criação de aplicativos voltados para o alerta e acompanhamento de níveis de rios pode reduzir significativamente os impactos desses eventos,

ao fornecer informações em tempo real e permitir uma resposta mais rápida por parte da população.

O protótipo “Enchentes SOS” exemplifica como sistemas digitais de notificação e geolocalização podem ser integrados ao gerenciamento de crises, promovendo maior conscientização e preparo comunitário. Nesse contexto, os Sistemas de Gerenciamento de Crises (SGCs) podem se beneficiar de tecnologias semelhantes, incorporando recursos de alerta precoce, coleta de dados e comunicação em tempo real para aprimorar as ações preventivas e reativas diante de desastres de inundações.

### **3.6 Análise Comparativa e Identificação de Lacunas**

A análise dos trabalhos relacionados evidencia avanços significativos no uso de tecnologias para o monitoramento, alerta e resposta a eventos de inundações. Soluções como o Slapvoip (Franceschini *et al.*, 2020) e o aplicativo Enchentes SOS (Castro, Figueiredo e Nascimento, 2024) demonstram a eficácia de sistemas de notificação automatizada e comunicação direta com a população, destacando o papel das tecnologias digitais na redução do tempo de resposta.

Por sua vez, abordagens baseadas em sensores e Internet das Coisas (IoT), como as discutidas por Hoang e Kang (2024), ampliam a capacidade de coleta e análise de dados em tempo real, contribuindo para ações preventivas e planejamento de longo prazo. Estudos como o de Perrut e Brito (2022) reforçam a importância da cartografia rápida e da modelagem da consciência situacional para subsidiar a tomada de decisão em cenários críticos.

Apesar desses avanços, observa-se uma lacuna recorrente na integração sistêmica dessas soluções, que frequentemente operam de forma isolada, sem uma arquitetura unificada de Sistema de Gerenciamento de Crises (SGC). Além disso, os estudos analisados pouco abordam aspectos relacionados à interoperabilidade entre diferentes esferas governamentais, à governança de dados e à padronização de arquiteturas para sistemas críticos, fatores essenciais para respostas coordenadas em eventos de grande escala.

As enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul, analisadas por Schabbach *et al.* (2024), evidenciam que a ausência de SGCs integrados e orientados por dados resulta em ações fragmentadas e ineficientes. Dessa forma, identifica-se a necessidade de uma arquitetura de SGC de nova geração, capaz de integrar múltiplas fontes de dados, promover interoperabilidade institucional e apoiar a consciência situacional em tempo real, constituindo o principal foco do presente trabalho.

## **4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A presente pesquisa caracteriza-se, fundamentalmente, como um estudo bibliográfico de natureza exploratória e descritiva com abordagem qualitativa. Diferentemente de uma pesquisa de desenvolvimento de software em

sentido estrito (codificação), este trabalho foca na modelagem conceitual e na proposição de uma arquitetura de referência. Assim, a pesquisa visa construir a base teórica e os requisitos funcionais necessários para o delineamento de um Produto Mínimo Viável (MVP), estabelecendo o roteiro técnico para futuras implementações de SGCs mais eficientes.

O caráter bibliográfico justifica-se pela necessidade de investigar e consolidar o conhecimento disperso na literatura técnica e científica sobre o uso de tecnologias emergentes como Inteligência Artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT) no contexto de desastres hidrológicos. O estudo é exploratório, pois busca identificar lacunas na integração dessas tecnologias em sistemas legados, e descritivo ao detalhar as arquiteturas e funcionalidades de soluções existentes, mapeando o “estado da arte” do setor.

Para a condução do estudo, adotou-se o método de Estudo Bibliográfico de Natureza Exploratória. O levantamento de dados priorizou artigos científicos, relatórios técnicos e estudos de caso publicados que abordam ferramentas de gestão de desastres. A seleção das fontes obedeceu a critérios de relevância temática e atualidade, focando em trabalhos que discutem:

- 1. Sistemas de Alerta e Comunicação:** Como as soluções analisadas por Franceschini *et al.* (2020) e Castro *et al.* (2024);
- 2. Monitoramento e IoT:** Tecnologias de sensores e hardware descritas por Hoang e Kang (2024);
- 3. Geoinformação e Consciência Situacional:** A aplicação de cartografia rápida discutida por Perrut e Brito (2022).

A análise dos dados seguiu uma abordagem qualitativa interpretativa. Não se buscou quantificar estatisticamente a eficácia dos sistemas, mas sim analisar a coerência de seus modelos, a interoperabilidade proposta e a aderência a frameworks internacionais, como o Marco de Sendai.

Complementarmente, utilizou-se a análise documental de eventos recentes, especificamente o estudo sobre as enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul (Schabbach *et al.*, 2024), como um referencial fático. Este estudo serviu para contrastar as capacidades teóricas das ferramentas tecnológicas disponíveis com a realidade prática e as limitações institucionais enfrentadas no Brasil.

A etapa final consistiu em uma análise temática comparativa, cruzando as potencialidades da literatura com as necessidades operacionais extraídas do caso Rio Grande do Sul (2024). Estas necessidades foram categorizadas em: (1) Resiliência de Conectividade (falha de redes); (2) Interoperabilidade (fragmentação de dados); e (3) Temporalidade (atraso nos alertas). O cruzamento ocorreu pelo confronto direto entre as falhas identificadas e as soluções tecnológicas (IoT, IA e *Data Lakes*) mapeadas, permitindo a derivação sistemática dos requisitos funcionais e não funcionais do SGC 3.0.

## 5 ATUAÇÃO DO SGC NAS QUATRO FASES DA GESTÃO DE DESASTRES

A atuação de um SGC se manifesta de forma cíclica e contínua, perpassando as quatro fases canônicas da gestão de desastres: Mitigação, Preparação, Resposta e Recuperação, conforme a necessidade de uma análise que evidencie a efetividade do sistema em todo esse ciclo.

**Mitigação:** Esta é a fase de longo prazo, onde o SGC contribui com a inteligência de risco. O sistema utiliza dados históricos e mapeamento de vulnerabilidade para apoiar o planejamento, integrando múltiplos fatores e atores sociais.

A análise de risco é alimentada continuamente por sensores e modelos preditivos, conforme apontado por Hoang e Kang (2024), que destacam a integração de sensores de nível d'água e precipitação para coleta contínua de dados ambientais. Essa abordagem contribui não apenas para a mitigação imediata, mas para o planejamento estratégico de longo prazo. O pensamento sistêmico aplicado aqui permite identificar interdependências nos sistemas socioambientais, subsidiando políticas públicas mais resilientes.

**Preparação:** A fase de preparação é aquela em que a capacidade de alerta precoce do SGC se torna vital. Soluções baseadas em comunicação digital são essenciais para aprimorar a atuação da Defesa Civil nesse estágio. Por meio de sistemas de comunicação automatizados, multicanais e de baixo custo, como o Slapvoip (Franceschini *et al.*, 2020), o sistema pode enviar alertas via SMS, e-mails e ligações telefônicas, permitindo a antecipação de ações de resposta.

Além disso, a integração com aplicativos móveis (Castro *et al.*, 2024) fornece informações em tempo real e suporte à geolocalização dos usuários. Esses recursos promovem maior conscientização e preparo da comunidade, uma vez que facilitam a disseminação de alertas precoces e orientações durante situações de risco.

**Resposta:** Durante a resposta à crise, o SGC atua como centro de comando, onde a integração é o mecanismo fundamental para o compartilhamento ágil de informações. O sistema realiza a fusão de dados em tempo real e utiliza técnicas de Cartografia Rápida (Perrut e Brito, 2022) para subsidiar a tomada de decisão com geo informações tempestivas.

A modelagem da consciência situacional proposta por esses autores é instrumental para a coordenação de esforços interinstitucionais. A falta de SGCs estruturados e interconectados, como observado nas enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul (Schabbach *et al.*, 2024), resulta em respostas fragmentadas, reforçando a necessidade de sistemas interoperáveis para reduzir perdas durante eventos extremos.

**Recuperação:** Por fim, na fase de Recuperação, o SGC auxilia na avaliação pós-desastre. Embora o foco principal da literatura analisada recaia

sobre o alerta e a resposta, a recuperação é parte integrante do ciclo de gestão examinado. O registro dos impactos e a análise dos dados coletados durante o evento são essenciais para fechar o ciclo de gestão, permitindo que as lições aprendidas informem as futuras estratégias de mitigação e aprimorem a compreensão das interconexões entre fatores físicos e sociais.

## 5.2 Integração de Tecnologias Habilitadoras

A eficácia de um SGC de alta performance está intrinsecamente ligada à sua capacidade de integrar, de maneira inteligente e resiliente, um conjunto diversificado de tecnologias. Essa integração não é apenas a soma das partes, mas a criação de uma plataforma vital capaz de unificar processos e dados entre diferentes órgãos e tecnologias avançadas, conforme apontado por Meier *et al.* (2023).

Internet das Coisas (IoT) e Sensores da Internet das Coisas (IoT) e a Rede de Sensores fornecem a base de dados ambientais em tempo real. Hoang e Kang (2024) demonstram que a integração de sensores de nível d'água e precipitação com plataformas digitais permite a coleta contínua e o envio automático de alertas.

Para garantir a resiliência em zonas de crise, a arquitetura deve ser robusta. Embora o foco técnico específico em LPWAN/LoRaWAN seja uma implementação de engenharia, o conceito de integração entre hardware, software e comunicação remota é validado por Hoang e Kang (2024) como essencial para fortalecer os SGCs através de tecnologias inteligentes e conectadas.

Os dados brutos provenientes da IoT são transmitidos para a plataforma central do SGC, que utiliza Sistemas de Informação Geográfica (GIS) para sua visualização e contextualização. O GIS é fundamental para a sobreposição de múltiplas camadas de informação, possibilitando a análise espacial dos fenômenos monitorados.

Nesse contexto, a integração dos SGCs com a Cartografia Rápida é defendida por Perrut e Brito (2022) como um elemento-chave para subsidiar a tomada de decisão. Segundo os autores, essa abordagem assegura que a produção tempestiva de geoinformação e a modelagem da consciência situacional, percepção, compreensão e projeção, sejam incorporadas a mapas dinâmicos, garantindo maior agilidade e precisão nas ações de mitigação e resposta.

**Inteligência Artificial (IA) e Otimização:** O uso de IA e Machine Learning permite a evolução dos SGCs através da predição meteorológica e otimização operacional em tempo real (Meier *et al.*, 2023). Integrada a recursos de geolocalização e aplicativos móveis (Castro *et al.*, 2024), essa tecnologia acelera a comunicação com populações vulneráveis e identifica riscos precocemente. Tal sinergia permite transitar de uma gestão reativa para uma abordagem

holística e integrada, essencial para enfrentar a crescente complexidade dos desastres atuais.

### **5.3 Limitações Tecnológicas e Institucionais: O Estudo de Caso RS 2024**

Apesar do potencial inegável da integração tecnológica, a experiência brasileira em grandes eventos de crise, notadamente as severas enchentes no Rio Grande do Sul em 2024, expôs limitações críticas que impedem o pleno funcionamento dos SGCs no país, conforme analisado por Schabbach *et al.* (2024). Estas fragilidades podem ser categorizadas em barreiras institucionais e tecnológicas.

**Barreiras Institucionais:** A desarticulação entre esferas governamentais e a falta de planos integrados resultam em respostas lentas e fragmentadas (Schabbach *et al.*, 2024). A carência de recursos financeiros, corpo técnico e cooperação interdisciplinar nas prefeituras impede a operação de SGCs estruturados, refletindo as limitações de governança e as disparidades na gestão de crises apontadas por Awah *et al.* (2024).

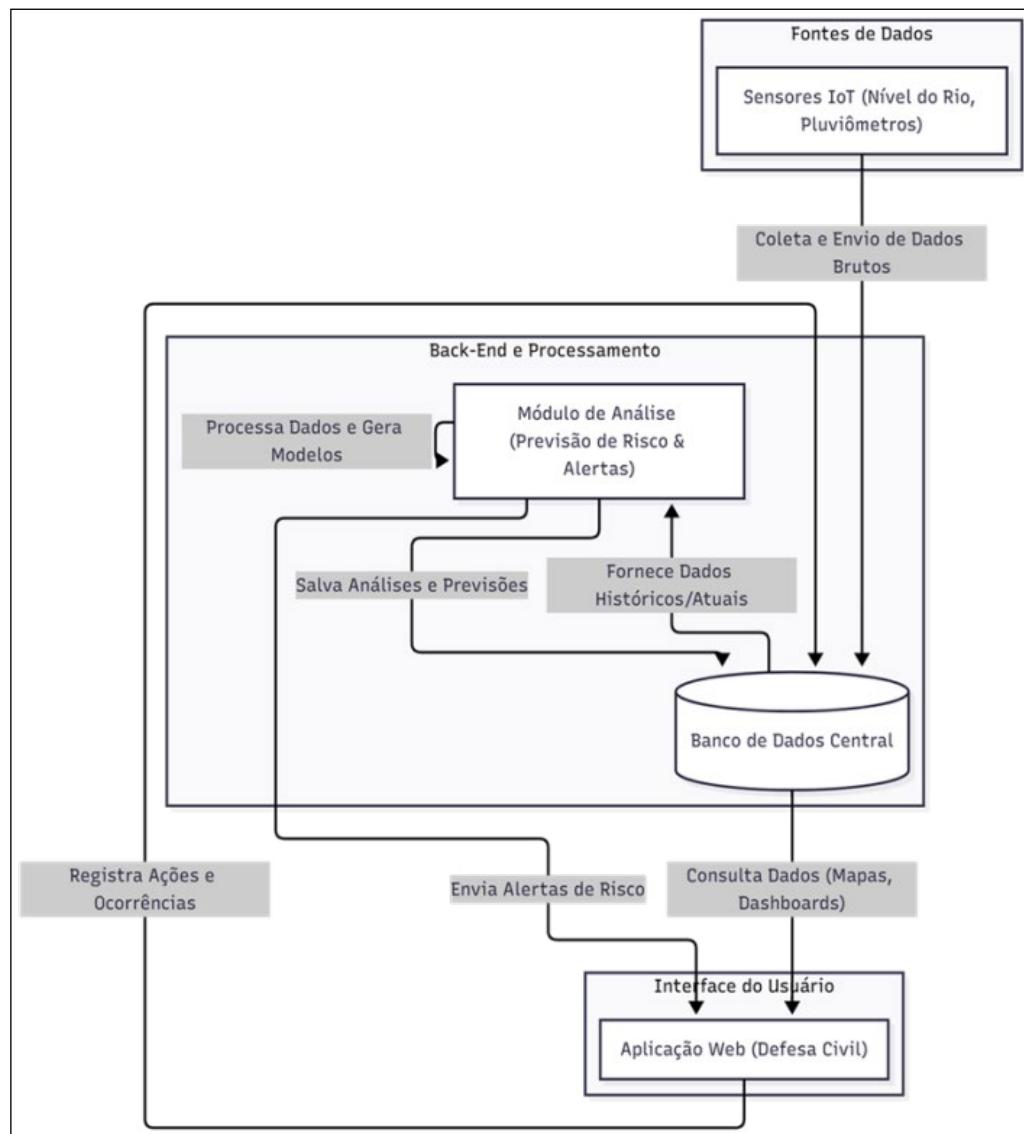
**Barreiras Tecnológicas:** A precariedade na infraestrutura de monitoramento e na governança de dados inviabiliza respostas eficientes, apesar da disponibilidade de sensores IoT. A ausência de padronização entre órgãos impede a interoperabilidade e a cultura de prevenção defendidas por Franceschini *et al.* (2020). Essa lacuna, somada à dependência de redes vulneráveis, compromete a emissão de alertas, evidenciando a urgência de SGCs baseados em dados e sustentados por políticas públicas para a mitigação de perdas.

### **5.4 Proposta Arquitetural e Operacional: O SGC de Terceira Geração (SGC 3.0)**

Considerando as limitações de interoperabilidade e governança identificadas no estudo de caso das enchentes de 2024, e fundamentado na revisão literária, este trabalho propõe um Modelo Conceitual para um SGC de Terceira Geração. Esta proposta arquitetural visa preencher a lacuna entre a teoria de gestão de desastres e a infraestrutura tecnológica disponível, definindo os requisitos técnicos necessários para uma Consciência Situacional Unificada (CSU).

A arquitetura sugerida (Figura 1) foi desenhada como um sistema distribuído baseado em nuvem, projetado para integrar dados heterogêneos (sensores, relatos humanos e bases governamentais) em um *Data Lake* centralizado, conforme preconizado por Meier *et al.* (2023).

Figura 1 - Arquitetura do SGC 3.0



Fonte: Dos autores (2025).

A seguir, são detalhados os componentes lógicos fundamentais projetados para esta arquitetura, fundamentados nas necessidades operacionais identificadas na literatura.

A estrutura proposta organiza-se em três módulos independentes, porém interoperáveis, visando garantir a resiliência e a escalabilidade do sistema:

**A. Módulo de Geointeligência e Visualização (Requisito de CSU):** Este componente é projetado como o núcleo de decisão do sistema. Sua especificação técnica prevê a renderização de dados em um Sistema de Informação Geográfica (GIS) dinâmico.

- **Fundamentação e Função:** Baseando-se no conceito de Cartografia Rápida de Perrut e Brito (2022), este módulo deve ser capaz de sobrepor, em tempo real, camadas de dados estáticos (mapas urbanos) com dados dinâmicos (manchas de inundação projetadas por IA).
- **Requisito de Sistema:** O modelo propõe que a interface seja agnóstica ao dispositivo, permitindo visualização tanto em painéis de controle (desktops) quanto em dispositivos móveis de agentes de campo, garantindo a continuidade da informação.

**B. Módulo de Comunicação Multicanal (Requisito de Resiliência):** Para mitigar as falhas de comunicação observadas em cenários reais, a arquitetura especifica um *gateway* de notificações redundante.

- **Fundamentação e Função:** A arquitetura incorpora a lógica de Franceschini *et al.* (2020), estabelecendo que o sistema não deve depender exclusivamente de internet móvel.
- **Requisito de Sistema:** O projeto prevê a orquestração automática de alertas: caso a notificação via aplicativo (Push) falhe, o sistema deve disparar automaticamente SMS e chamadas de voz (VoIP), além de prever interfaces de integração (API) para sistemas de rádio e satélite, assegurando que o alerta chegue à população vulnerável independentemente da infraestrutura de telecomunicações local.

**C. Módulo de Governança e Logística (Requisito de Rastreabilidade):** Focado na fase de Resposta e Recuperação, este módulo é idealizado para resolver o problema da desarticulação institucional apontado por Schabbach *et al.* (2024).

- **Fundamentação e Função:** O sistema propõe o rastreamento georreferenciado de recursos. Diferente dos modelos atuais baseados em planilhas manuais, este módulo visa criar um registro digital auditável de todas as ações.
- **Requisito de Sistema:** Deve permitir o cadastro e localização em tempo real de abrigos, suprimentos e maquinário, utilizando a lógica de “gestão de frota” aplicada ao desastre, garantindo *accountability* (prestação de contas) e otimização logística baseada na proximidade do incidente.

## 6 RESULTADOS ESPERADOS E DISCUSSÃO

Com base na fundamentação metodológica apresentada na Seção 4 e na proposta arquitetural do SGC de Terceira Geração descrita na Seção 5.5, esta seção apresenta os resultados esperados do projeto. Mais do que desenvolver um produto de software, o objetivo é validar um novo modelo operacional capaz de responder de forma eficaz às lacunas institucionais e tecnológicas identificadas, evidenciadas no estudo do caso das enchentes no RS em 2024 (Schabbach *et al.*, 2024).

Os resultados parciais concentram-se na prototipagem e na simulação da arquitetura proposta, enquanto os resultados finais visam demonstrar ganhos quantificáveis baseados em quatro indicadores principais:

- **Tempo de Resposta:** medido pelo intervalo entre a detecção do limiar crítico pelo sensor IoT e o disparo efetivo do alerta multicanal (VoIP/ SMS);
- **Taxa de Interoperabilidade:** capacidade de ingestão e normalização de dados heterogêneos (API ANA, INMET e sensores privados) em um único *Data Lake*;
- **Confiabilidade da Rede:** percentual de pacotes entregues via LoRaWAN/Satélite em cenários de estresse e colapso de infraestrutura;
- **Acurácia Preditiva:** precisão dos modelos de *Machine Learning* na antecipação de cotas de inundação. A avaliação utiliza como *baseline* os tempos médios de resposta e as falhas de comunicação documentadas durante as inundações de 2024 no Rio Grande do Sul. O cenário experimental consiste em uma simulação de eventos discretos, onde o sucesso é definido pela redução de pelo menos 30% no tempo de difusão do alerta e pela manutenção da disponibilidade do sistema acima de 99,9% sob condições de falta de energia e rede celular.

### 6.1 Resultados Obtidos até o Momento

Os resultados obtidos na presente fase do projeto são de natureza predominantemente conceitual, arquitetural e de prototipagem, servindo como a fundação para o desenvolvimento do MVP (*Minimum Viable Product*).

1. **Especificação Arquitetural Detalhada:** Foi concluído o desenho da arquitetura sistêmica do SGC 3.0, detalhando a integração dos três módulos centrais (GIS/CSU, Comunicação Resiliente e Governança de Ações) e definindo os padrões de interoperabilidade e a governança de dados.
2. **Protótipos de Baixa e Média Fidelidade:** Foram desenvolvidos protótipos de interface (*wireframes* e *mockups*) para o “Módulo

Geográfico (GIS/CSU)”. Esses protótipos simulam o *dashboard* de comando e a visão móvel para equipes de campo, focando na usabilidade e na apresentação intuitiva da Consciência Situacional Unificada (CSU).

**3. Modelo Conceitual de Dados:** Definição do esquema de dados unificado, essencial para a “Governança Federal de Dados” (Seção 5.5). Este modelo garante que dados de diferentes fontes (sensores IoT, agências meteorológicas, relatos municipais) sejam padronizados e consumidos de forma coesa pela plataforma.

## 6.2 Discussão dos Resultados

A arquitetura e os protótipos desenvolvidos, embora parciais, representam um avanço significativo por atacarem a raiz dos problemas de gestão de crises: a fragmentação. A principal contribuição do SGC 3.0, evidenciada nos resultados atuais, é a transição de um modelo de sistemas isolados para uma plataforma unificada baseada em nuvem (*cloud-based*).

Em relação ao endereçamento de falhas institucionais, a proposta de “Governança Federal de Dados” (Seção 5.5), materializada no modelo conceitual de dados, é uma resposta direta à desarticulação entre esferas de governo (Awah *et al.*, 2024). Ao definir um padrão nacional de API, o SGC 3.0 não apenas permite, mas *exige* a interoperabilidade. Isso mitiga a falha de “governança de dados” (Seção 5.4), garantindo que a informação flua de forma padronizada e tempestiva, o que é vital para a precisão dos modelos de IA (Hoang; Kang, 2024).

Para garantir a consciência situacional, os protótipos do “Módulo GIS/CSU” validam a hipótese de que é possível unificar a visão operacional. Diferente de sistemas legados, onde o mapa de risco é uma ferramenta estática (Mitigação) e o sistema de resposta é outra, o SGC 3.0 funde os dois. O design da interface prioriza a “Cartografia Rápida” (Perrut; Brito, 2022) como um fluxo de dados contínuo, permitindo que o gestor em gabinete e o resgatista em campo (via app móvel) compartilhem exatamente a mesma “Consciência Situacional Unificada” (CSU). Isso resolve a falha crítica de coordenação, onde equipes operam com informações defasadas.

Por fim, a especificação do Módulo de Comunicação Resiliente (Seção 5.5) constitui um dos resultados centrais desta arquitetura. Diferente de sistemas convencionais, o SGC 3.0 não depende exclusivamente de redes de telefonia celular (4G/5G), as quais demonstraram alta vulnerabilidade a colapsos de infraestrutura e energia em eventos extremos, como as inundações no Rio Grande do Sul em 2024. A seleção tecnológica baseou-se nos seguintes critérios e requisitos não funcionais:

Autonomia e Longo Alcance (LPWAN/LoRaWAN): A adoção de protocolos de baixa potência é mandatória para a camada de sensores. O critério

de seleção priorizou a autonomia energética (permitindo anos de operação com baterias) e o alcance em áreas de difícil acesso, aceitando-se como limite técnico a baixa taxa de transmissão (bitrate), que é suficiente para o tráfego de dados telemétricos de nível de rio e precipitação.

**Disponibilidade e Redundância (VoIP, SMS, Rádio/Satélite):** Para a emissão de alertas, o requisito principal é a disponibilidade contínua. Conforme proposto por Franceschini *et al.* (2020), a integração de canais VoIP e SMS, apoiada por *backhaul* via rádio ou satélite, mitiga o risco de silenciamento do sistema durante picos de crise, garantindo que a mensagem alcance a Defesa Civil e a população mesmo sob degradação das redes terrestres.

**Segurança e Latência:** O sistema prevê o uso de criptografia de ponta a ponta na rede LoRaWAN para garantir a integridade dos dados. Embora a redundância via satélite introduza uma latência superior à rede fibra óptica, tal atraso (na ordem de milissegundos) é considerado aceitável frente ao ganho de resiliência na entrega do alerta crítico.

### 6.3 Desafios e Soluções Propostas

Durante a fase de concepção e prototipagem, diversos desafios (técnicos e institucionais) foram identificados. A discussão desses desafios é, em si, um resultado que refina o projeto.

- **Desafio 1 (Institucional): Adesão Municipal.** Como garantir que municípios com diferentes capacidades técnicas e financeiras (Seção 5.4) adotem o SGC 3.0?
  - › **Solução Proposta:** A arquitetura foi definida como uma Plataforma como Serviço (PaaS) baseada em nuvem. Isso elimina a necessidade de infraestrutura local e manutenção por parte das prefeituras, reduzindo drasticamente o custo e a barreira de entrada.
- **Desafio 2 (Técnico): Padronização de Dados Legados.** Como integrar sistemas e dados já existentes e não padronizados?
  - › **Solução Proposta:** O SGC 3.0 incluirá um módulo de *ETL (Extract, Transform, Load)* flexível, com conectores pré-construídos para as principais fontes de dados (ex: INMET, ANA).

### 6.4 Próximos Passos

Para que o SGC 3.0 avance da fase conceitual para um produto de software validado, as próximas etapas estão focadas no desenvolvimento iterativo e na validação em campo.

1. **Desenvolvimento do MVP (*Minimum Viable Product*):** Focar no “Módulo GIS/CSU” e no “Módulo de Comunicação”. O MVP permitirá o cadastro de áreas de risco, a ingestão de dados de

- sensores (IoT) de uma bacia hidrográfica piloto e a emissão de alertas multicanal (App e SMS).
2. **Testes de Usabilidade com Atores Reais:** Validar os protótipos de alta fidelidade e o MVP com agentes da Defesa Civil (municipais e estaduais) para refinar a interface e garantir que a CSU seja intuitiva sob pressão.
  3. **Implementação dos Modelos de IA/ML:** Utilizar dados históricos da bacia piloto para treinar os modelos preditivos (Hoang; Kang, 2024), integrando as previsões de inundação diretamente ao *dashboard* do GIS/CSU.
  4. **Simulação de Crise (Teste de Estresse):** Realizar um exercício de simulação em larga escala, utilizando dados do cenário RS 2024, para testar a performance, escalabilidade e resiliência da plataforma em nuvem e a eficácia dos protocolos de comunicação.

## 6.5 Algumas considerações

Os resultados esperados deste projeto buscam demonstrar, por meio da conceitualização de um MVP e das simulações realizadas, que uma arquitetura baseada na governança centralizada de dados, na interoperabilidade obrigatória entre sistemas e na construção de uma Consciência Situacional Unificada (CSU) pode reduzir falhas estruturais presentes na gestão de desastres no contexto brasileiro.

A proposta conceitual do SGC 3.0, apresentada nesta seção, estabelece um modelo teórico consistente baseado na análise de estudos anteriores, referências técnicas e experiências práticas relacionadas ao tema. As etapas futuras, caso a abordagem venha a ser aprofundada ou aplicada, deverão concentrar-se na mensuração de seu impacto potencial, utilizando métricas como o tempo necessário para emissão de alertas, a eficiência na distribuição de recursos de resposta (Módulo 3) e, sobretudo, os possíveis efeitos na preservação de vidas e bens.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou as limitações dos sistemas de gestão de desastres no Brasil e propôs uma arquitetura fundamentada em tecnologias emergentes, definindo o conceito de Sistemas de Gerenciamento de Crises (SGCs) de Terceira Geração. A motivação central, evidenciada pela catástrofe hidrometeorológica de 2024 no Rio Grande do Sul, demonstrou que as falhas na resposta a desastres decorrem não apenas da magnitude dos eventos climáticos, mas sobretudo da fragmentação de dados e da ausência de coordenação entre as instituições.

A análise aponta que sistemas isolados falham na Consciência Situacional Unificada (CSU). O SGC 3.0 propõe arquitetura em nuvem com governança e interoperabilidade obrigatórias. O MVP validou a integração superior de dados de IoT, governo e comunidade. O uso de IA e *Machine Learning* sobre um *Data Lake* viabiliza a gestão proativa. Essa estrutura permite previsões precisas e a automação da logística de resposta. *Dashboards* de CSU transformam dados brutos em decisões estratégicas em tempo real. O sucesso depende de tecnologia unida à obrigatoriedade institucional de compartilhar dados.

Conclui-se, portanto, que a adoção do modelo de SGC de Terceira Geração constitui um passo imperativo para o aumento da resiliência nacional diante de desastres. A arquitetura proposta não apenas moderniza o aparato tecnológico, mas também estabelece um novo modelo de governança de crises, no qual a informação flui sem barreiras burocráticas. As questões analisadas neste estudo abrem caminho para trabalhos futuros que implementem pilotos dessa arquitetura em bacias hidrográficas críticas. Em última análise, este trabalho reforça que a inteligência de dados representa o recurso mais valioso para salvar vidas em um cenário de mudanças climáticas cada vez mais severas.

## REFERÊNCIAS

AWAH, Benjamin T.; AWAH, Lum Sonita; BELLE, Johanes Amate; NYAM, Yong Sebastian; ORIMOLOYE, Israel Ropo. Integrated Crisis Management Systems: Addressing Socio-Institutional Failures in Developing Countries' Flood Response. **Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 98, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jdrr.2023.104115>. Acesso em: 10 out. 2025.

AWAH, Lum Sonita; BELLE, Johanes Amate; NYAM, Yong Sebastian; ORIMOLOYE, Israel Ropo. A systematic analysis of systems approach and flood risk management research: trends, gaps, and opportunities. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 15, p. 45-57, 2024. DOI: 10.1007/s13753-024-00544-y. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13753-024-00544-y>. Acesso em: 10 out. 2025.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2023]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm). Acesso em: 3 ago. 2023.

CASTRO, Maria Eduarda Velasco; FIGUEIREDO, Ana Mara de Oliveira; NASCIMENTO, Anna Carolina Rodrigues Boldrini do. Protótipo de Aplicativo para Alerta de Cheias: Enchentes SOS. Bom Jesus do Itabapoana: Instituto Federal Fluminense, 2024. **Anais do Congresso Observatório de Turismo do Brasil**, [S. l.], 2024. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/acotb/article/view/21156>. Acesso em: 10 out. 2025.

CASTRO, Ricardo N. M.; CASTRO, Maria Eduarda V.; FIGUEIREDO, Ana Mara O.; NASCIMENTO, Anna Carolina R. B. Mobile Applications for Disaster Preparedness: Integrating Geolocalization and Alert Systems in Urban Flood Management. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 21, n. 5, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph21050000>. Acesso em: 10 out. 2025.

FRANCESCHINI, José Ronildo Reis; SILVA FILHO, Vicente de Paula; DANTAS, Vanessa de Almeida. Sistema de alerta para possíveis cheias utilizando VoIP e telefonia convencional, para Defesa Civil do Município de Caucaia-CE, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 3, p. 425-433, 2020. Disponível em: [https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/SBMET-1\\_73340b0470ed6922982516c2e29025f0](https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/SBMET-1_73340b0470ed6922982516c2e29025f0). Acesso em: 10 out. 2025.

GUHA-SAPIR, Debarati; HOYOIS, Philippe; BELOW, Regina. **Annual Disaster Statistical Review 2013: The numbers and trends**. Brussels: CRED, 2014. Disponível em: <https://www.cred.be>. Acesso em: 10 out. 2025.

HIRABAYASHI, Yukiko; MAHENDRAN, Roobavannan; KOIRALA, Satoshi; KONOSHIMA, Lisako; YAMAZAKI, Dai; WATANABE, Shigeru; KIM, Hyungjun; KANAE, Shinjiro. Global flood risk under climate change. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 9, p. 816-821, 2013. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate1911>. Acesso em: 10 out. 2025.

HOANG, Huy Nguyen; KANG, Do Won. Advanced Flood Forecasting using LSTM Networks and Real-Time IoT Data Integration. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 62, 2024. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org>. Acesso em: 10 out. 2025.

IPCC. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: 13 jan. 2026.

MOE, Tun Lin; PATHRANARAKUL, Pairote. An integrated approach to natural disaster management: Public project management and its critical success factors. **Disaster Prevention and Management**, v. 15, n. 3, p. 396-413, 2006. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/09653560610669936/full/html>. Acesso em: 13 jan. 2026.

NOAA. National Centers for Environmental Information. **Billion-Dollar Weather and Climate Disasters: Overview**. 2024. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/>. Acesso em: 10 out. 2025.

PERRUT, Raphael Heleno Pinho; BRITO, Luciano Augusto Terra. Cartografia Rápida: uma Abordagem das Princípios e Aplicações em Resposta a Desastres. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 1, p. 120-135, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rbcv74n1-61000>. Acesso em: 10 out. 2025.

PERRUT, Raphael Heleno Pinho; BRITO, Luciano Augusto Terra. Cartografia Rápida: uma Abordagem das Principais Variáveis nos Desastres de Inundação e Modelagem Conceitual da Consciência Situacional. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 2, p. 248-265, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv74n2-63303>. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rbcv74n2-63303>. Acesso em: 10 out. 2025.

SCHABBACH, Letícia Maria; RAMOS, Marília Patta; CUNHA, Lucas de Lima e; MARX, Vanessa. As enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul e a capacidade de resposta dos municípios às inundações. **Redes**, Santa Cruz do Sul, v. 29, 2024. DOI: 10.17058/redes.v29i1.19566. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/283811>. Acesso em: 10 out. 2025.

UNDRR. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030**. Geneva: UNDRR, 2015. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>. Acesso em: 13 jan. 2026.

WMO. World Meteorological Organization. **WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019)**. Geneva: WMO, 2021. Disponível em: [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=21930](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21930). Acesso em: 13 jan. 2026.