

GESTÃO INTEGRADA DE RISCOS: ANÁLISE MULTIMETODOLÓGICA DE INCÊNDIO FLORESTAL EM INFRAESTRUTURA CRÍTICA NA BAHIA ¹

Luana Macedo de Souza Silva²

<https://orcid.org/0000-0003-3673-6821>

Jamile Lutiane Ferreira Mattos³

<https://orcid.org/>

Ricardo Nascimento da Luz⁴

<https://orcid.org/>

RESUMO

O presente estudo analisa os riscos associados ao incêndio florestal que atingiu, em novembro de 2024, as instalações de captação de água da EMBASA na barragem de Pedra do Cavalo, na Bahia. Adotou-se uma abordagem multimetodológica, com aplicação das ferramentas Análise Preliminar de Riscos (APR), Análise de Árvore de Falhas (AAF), Análise de Árvore de Eventos (AAE) e método Bowtie, além de modelos preditivos de perigo de incêndios como a Fórmula de Monte Alegre. A análise evidenciou a ausência de barreiras físicas, deficiências operacionais, falhas em protocolos de contingência e limitações na gestão da vegetação. O evento foi classificado como de risco "Crítico", com severidade "Catastrófica" e frequência "Provável". As recomendações incluem intervenções estruturais, aprimoramento tecnológico dos sistemas de monitoramento, revisão dos planos de contingência e capacitação das equipes operacionais. A pesquisa oferece subsídios para a formulação de políticas públicas de gestão de riscos em infraestruturas críticas, com foco na prevenção e na resiliência frente a eventos extremos.

Palavras-chave: Gestão de riscos; Incêndio florestal; Infraestrutura crítica; Análise multimetodológica; Bowtie.

¹ **Artigo Premiado** (2ª Colocação – Apresentação Pôster) – Congresso Nacional de Bombeiros – CONABOM 2025.

² CBMBA, Mestranda, Salvador/Ba – luana.silva@cbm.ba.gov.br

³ CBMBA, Mestranda, Salvador/Ba - lutiane@cbm.ba.gov.br

⁴ CBMBA, Mestrando, Salvador/Ba - ricardo.luz@cbm.ba.gov.br

INTEGRATED RISK MANAGEMENT: MULTIMETHODOLOGICAL ANALYSIS OF FOREST FIRES IN CRITICAL INFRASTRUCTURE IN THE STATE OF BAHIA

ABSTRACT

This study analyzes the risks associated with the forest fire that affected, in November 2024, the water intake facilities of EMBASA at the Pedra do Cavalo dam, Bahia, Brazil. A multi-methodological approach was adopted, applying the Preliminary Risk Analysis (PRA), Fault Tree Analysis (FTA), Event Tree Analysis (ETA) and Bowtie method, combined with predictive models such as the Monte Alegre Formula. The analysis revealed the absence of physical barriers, operational deficiencies, failures in contingency protocols and limitations in vegetation management. The event was classified as "Critical Risk," with "Catastrophic" severity and "Probable" frequency. Recommendations include structural interventions, technological improvement of monitoring systems, contingency plan review and operational team training. This research provides insights for public policies on risk management in critical infrastructure, focusing on prevention and resilience against extreme events.

Keywords: Risk management; Forest fire; Critical infrastructure; Multi-method analysis; Bowtie.

Artigo Recebido em 25/08/2025

Aceito em 25/11/2025

Publicado em 20/03/2026

Artigo Premiado – Seleção Comitê Científico CONABOM 2025

1. INTRODUÇÃO

Eventos recentes envolvendo incêndios florestais em áreas de interface urbano-florestal têm evidenciado vulnerabilidades em infraestruturas críticas no Brasil. O incêndio ocorrido em novembro de 2024 nas instalações da EMBASA, na barragem de Pedra do Cavalo, Bahia, interrompeu o abastecimento de água de diversos municípios, revelando deficiências estruturais e operacionais.

O aumento da frequência e intensidade desses eventos está diretamente relacionado às mudanças climáticas e à expansão desordenada de zonas de interface urbano-florestal (WUI). A gestão de riscos em contextos como esse exige abordagens analíticas robustas e integradas, capazes de antecipar falhas, modelar consequências e propor intervenções eficazes (Cipriano Júnior; Parizotto, 2017; Fidalgo, 2012; Feitosa; São Pedro Filho; Carneiro, 2023).

2. OBJETIVO

Analisar os riscos associados ao incêndio florestal que afetou a estação de captação da EMBASA, localizada na barragem de Pedra do Cavalo, com foco na identificação de vulnerabilidades e na proposição de medidas preventivas e corretivas para fortalecer os planos de contingência e a resiliência das infraestruturas críticas.

3. MÉTODO

Este estudo adotou uma abordagem metodológica qualitativa e quantitativa, com aplicação integrada de ferramentas consolidadas de análise de riscos. Inicialmente, utilizou-se a Análise Preliminar de Riscos (APR), que permitiu identificar ameaças, vulnerabilidades e pontos críticos da infraestrutura afetada, especialmente no que se refere à gestão da vegetação, ausência de barreiras físicas e deficiências operacionais.

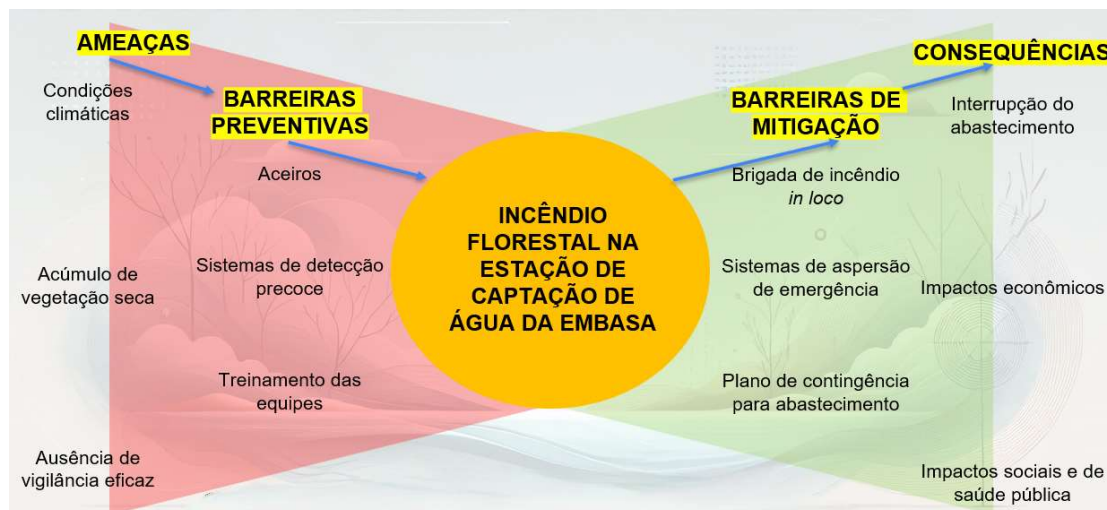
Na sequência, foi aplicada a Análise de Árvore de Falhas (AAF), que identificou as causas-raiz responsáveis pelo evento, estruturando as falhas de forma hierárquica e lógica. Paralelamente, a Análise de Árvore de Eventos (AAE) permitiu modelar os desdobramentos do incêndio, avaliando impactos como interrupção do abastecimento, danos à infraestrutura e prejuízos socioeconômicos.

O método Bowtie foi empregado como ferramenta integradora, possibilitando uma visualização ampla das ameaças, causas, falhas, barreiras preventivas e mitigadoras, bem como das consequências associadas ao evento crítico.

A análise foi complementada com a utilização de modelos preditivos de perigo de incêndios florestais, incluindo a Fórmula de Monte Alegre e outros índices meteorológicos, para avaliar as condições ambientais que favoreceram a ignição e propagação do fogo.

Por fim, a classificação do risco foi realizada com base na matriz que cruza frequência e severidade, permitindo categorizar o risco como crítico e orientar as estratégias de mitigação e aperfeiçoamento dos planos de contingência.

Imagem 1 - Método Bowtie



Fonte: Autores, 2025.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da APR permitiu identificar vulnerabilidades significativas, diretamente relacionadas ao agravamento do incêndio. As principais fragilidades incluíram a ausência de aceiros — fundamentais para conter a propagação do fogo —, além da gestão inadequada da biomassa nas áreas próximas à estação. Somaram-se a essas deficiências falhas nos sistemas de monitoramento ambiental e meteorológico, que comprometeram a detecção precoce dos focos de incêndio, além de planos de contingência insuficientes, tanto em escopo quanto em efetividade operacional.

A utilização da AAF possibilitou rastrear as causas-raiz que desencadearam o evento crítico, destacando, entre os fatores preponderantes, a deficiência estrutural pela inexistência de barreiras físicas, a precariedade dos sistemas de monitoramento em tempo real e a ineficácia da resposta

emergencial, que foi tardia e pouco eficiente frente à rápida propagação do fogo.

A AAE, por sua vez, permitiu projetar os principais desdobramentos do sinistro, evidenciando consequências severas tanto para a infraestrutura quanto para a população. Destacam-se os danos diretos à estação de bombeamento, a interrupção prolongada do abastecimento de água em diversos municípios, a contaminação hídrica por fuligem e resíduos, além de significativos prejuízos socioeconômicos, especialmente sobre setores produtivos dependentes do fornecimento regular de água.

Com base nos critérios do Manual de Análise de Riscos da FEPAM, o risco foi classificado como Crítico (Classe 5 – Vermelho), resultado da combinação entre uma severidade Catastrófica (nível V) — devido à magnitude dos impactos — e uma frequência Provável (nível D), associada às condições ambientais preexistentes, como estiagem prolongada, acúmulo de biomassa e ausência de barreiras de contenção.

O método Bowtie sintetizou as análises anteriores em uma representação gráfica, permitindo uma visão sistêmica dos riscos. O diagrama destacou, de um lado, as principais causas — inexistência de aceiros, acúmulo de biomassa e falhas nos sistemas de monitoramento e alerta — e, do outro, as consequências críticas, como interrupção dos serviços de abastecimento, danos à qualidade da água e impactos econômicos e sociais. A análise também evidenciou a ausência ou ineficiência das barreiras preventivas e mitigadoras, reforçando a necessidade urgente de medidas como sistemas de aspersão, vigilância por drones e protocolos operacionais mais robustos.

Diante desse diagnóstico, o estudo recomenda um conjunto de intervenções essenciais. No eixo estrutural, destaca-se a construção de aceiros perimetrais e a remoção sistemática da vegetação seca nas áreas de risco. No campo tecnológico, recomenda-se a implantação de sistemas modernos de monitoramento, utilizando sensores térmicos, drones e integração de dados

meteorológicos em tempo real. Do ponto de vista operacional, torna-se imperativa a revisão dos planos de contingência, prevendo rotas alternativas de abastecimento e mobilização ágil de equipes e recursos. Na gestão organizacional, é indispensável a capacitação contínua de brigadas de incêndio, operadores e tomadores de decisão, além da adoção de modelos preditivos para emissão de alertas antecipados.

Em síntese, os resultados demonstram que a integração das metodologias APR, AAF, AAE e Bowtie, associada ao uso de modelos preditivos de perigo de incêndios, configura um arcabouço robusto e aplicável à gestão de riscos em infraestruturas críticas. Este modelo se mostra replicável não apenas na Bahia, mas em qualquer contexto que apresente vulnerabilidades ambientais e operacionais similares.

5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O incêndio florestal que atingiu a estação de captação da EMBASA revelou a importância da adoção de metodologias integradas na gestão de riscos. A conjugação da APR, AAF, AAE e Bowtie permitiu mapear causas, falhas, vulnerabilidades e propor intervenções robustas. O estudo reforça a necessidade de políticas públicas voltadas à proteção de infraestruturas críticas, especialmente no contexto das mudanças climáticas e do avanço das interfaces urbano-florestais. As recomendações propostas podem ser aplicadas não apenas à EMBASA, mas a qualquer infraestrutura crítica exposta a riscos ambientais no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACORDA CIDADE. Incêndio florestal atinge instalações da Embasa; abastecimento de água já foi restabelecido. Feira de Santana, 15 nov. 2024. Disponível em: <https://www.acordacidade.com.br>. Acesso em: 08 fev. 2025.

BENEDITO, L. F. Análise Preliminar de Risco (APR) em uma marcenaria do interior do estado de São Paulo. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br>. Acesso em: 16 nov. 2024.

CIPRIANO JÚNIOR, Z. A.; PARIZOTTO, W. A importância do conhecimento das particularidades das ocorrências de incêndios florestais com interface urbana para o CBMSC. *Ignis: Revista Técnico Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina*, v. 2, n. 1, p. 2-18, 2017.

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler. *Manual de análise de riscos industriais: FEPAM nº 01/01*. Porto Alegre: FEPAM, 2016. Disponível em: <https://fepam.rs.gov.br>. Acesso em: 09 fev. 2025.

FEITOSA, A. N.; SÃO PEDRO FILHO, F.; CARNEIRO, R. J. G. Ferramenta Bowtie na identificação de riscos em planos de integridade em projetos públicos. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 14, n. 7, p. 11009-11028, 2023.

FIDALGO, E. S. Territórios em mudança e os incêndios na interface urbano-florestal: Estudo de caso em Baião. *Cadernos de Geografia*, n. 30/31, p. 87-98, 2012.

NOVAIS, M. P. S. Análise do desastre hidrometeorológico ocorrido em dezembro de 2018 na cidade de Jacobina – BA. *Geografia: Ensino & Pesquisa*, v. 24, e27, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236499440721>.

NUNES, J. R. S. *FMA+: um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná – Brasil*. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SOARES, R. V. *Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centro-paranaense, Brasil*. 1972. Dissertação (Mestrado) – Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA, Turrialba, 1972.