

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### AVALIAÇÃO DO RISCO E PERIGO EM ÁREAS SUJEITAS AOS DESASTRES HIDROLÓGICOS

*Sarah Ruy Aiolfi<sup>1</sup>; Dejanyne Paiva Zamprogno Bianchi<sup>23</sup>*

#### **ABSTRACT**

Over the years, the relationship between urbanization and flooding has intensified, particularly due to the inadequate occupation of riverbanks, leading to an increase in the frequency and intensity of these events. Between 1995 and 2014, Brazil spent over R\$ 9 billion annually on natural disasters, affecting millions. Espírito Santo, in particular, recorded several emergency situations due to hydrological events. The assessment focuses on Iconha, where a mapping of flood-prone areas was developed, considering return periods ranging from 5 to 200 years. The study reveals that 62.25% of the city has a low risk of flooding, while 37.75% presents a high or very high risk, especially in areas close to the river. The research emphasizes the importance of control measures, both structural and non-structural, to mitigate impacts and protect the population, also suggesting the development of recreational areas in the most vulnerable regions. The information obtained can guide public policies for more effective management of water resources and land use.

#### **RESUMO**

Ao longo dos anos a relação entre urbanização e inundações tem se intensificado, principalmente com a ocupação inadequada de margens de cursos d'água, a frequência e a intensidade desses eventos tem aumentado. Entre 1995 e 2014, o Brasil gastou mais de R\$ 9 bilhões anuais devido a desastres naturais, afetando milhões de pessoas. O Espírito Santo, em particular, registrou várias situações de emergência por eventos hidrológicos. A avaliação tem como foco a cidade de Iconha no estado do Espírito Santo, onde foi desenvolvido um mapeamento de áreas suscetíveis a inundações, considerando tempos de retorno que variam de 5 a 200 anos. O estudo revela que 62,25% da cidade tem baixo risco de inundações, enquanto 37,75% apresenta risco alto ou muito alto, especialmente nas áreas próximas ao rio. A pesquisa enfatiza a importância de medidas de controle, tanto estruturais quanto não estruturais, para mitigar os impactos e proteger a população, sugerindo também o desenvolvimento de áreas de lazer nas regiões mais vulneráveis. As informações obtidas podem guiar políticas públicas para uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos e do uso do solo.

**Palavras-Chave:** Urbanização. Perigo. Risco. Desastres.

<sup>1)</sup> Afiliação: Instituto Federal do Espírito Santo Campus Vitória, Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara, Vitória - ES, 29040-780, (27) 998091753  
aiolfi.sarah@gmail.com.

<sup>2)</sup> Afiliação: Instituto Federal do Espírito Santo Campus Vitória, Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara, Vitória - ES, 29040-780, (27) 3331-2237,  
dejanyne@ifes.edu.br

## INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a relação entre o homem e a cidade sempre foi intimamente ligada à água, entretanto, a intensa urbanização sem o planejamento adequado, e principalmente a ocupação das margens de cursos d'água, propiciam consequências desastrosas na ocorrência de eventos hidrológicos extremos (PEZANTE, 2018). Um impacto negativo desse processo é o aumento das áreas impermeáveis que podem acarretar o aumento do escoamento superficial e da velocidade de deslocamento por condutos e canais que, por conseguinte, ocasionam o aumento da frequência e magnitude das inundações (TUCCI, 2016).

Segundo Paulo (2019), no Brasil entre 1995 e 2014, estimasse que foram gastos mais de R\$ 9 bilhões por ano em decorrência de desastres naturais, além disso, nesse mesmo período mais de 18 milhões de pessoas foram afetadas por algum desastre natural no território. A autora ainda destaca que um dos estados comumente afetado por esses eventos é o Espírito Santo, na qual mais de 47 municípios tiveram situação de emergência decretada em função de um evento hidrológico no ano de 2013.

Assim, um dos pilares para o planejamento urbano deve ser a realização de estudos que delimitem e apresentem as áreas suscetíveis a inundações, com base no cruzamento dos diferentes usos do solo e as zonas de maior risco (SILVA, 2013).

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Desastres Naturais

Os desastres naturais são resultados de fenômenos naturais sobre um ecossistema vulnerável, provocando danos materiais e/ou ambientais, vítimas e consequentemente, prejuízos econômicos e sociais a um nível tal que excedam a capacidade de auto recuperação da comunidade local, exigindo recursos de assistência externa ao município (MATA-LIMA et al., 2013).

Segundo o relatório The human cost of weather related disasters publicado em 2020, aponta que no período de dez anos, entre 2000 a 2019, noventa por cento dos desastres relatados no mundo foram decorrentes de eventos relacionados ao clima, tais como inundações, tempestades, ondas de calor e outros. Cabe destacar que as inundações representaram 47% de todos os desastres desse período (UNISDR, 2020).

Dentre os fatores que podem contribuir com os desastres naturais, Mata-Lima et al. (2013) destacam o crescimento demográfico, que engloba os efeitos do aumento populacional e de estruturas

(ambientes construídos) que contribuem tanto para o aumento da magnitude dos desastres naturais como para o agravamento das vulnerabilidades das comunidades afetadas.

Nesse sentido, com a finalidade de buscar o entendimento das inundações urbanas, vale ressaltar os principais fatores que influenciam em sua vulnerabilidade e as principais consequências desse processo.

### **Inundações Urbanas**

As inundações urbanas ocorrem quando o sistema de drenagem, evidenciado por uma galeria de drenagem, um rio, canal ou outros, atinge a capacidade máxima de carreamento das águas e por conseguinte, o mesmo extravasa ocupando locais que são utilizados pelas populações (BARRA; TEIXEIRA, 2015).

Segundo Silva (2013), frequentemente as inundações são confundidas com as enchentes, assim, as enchentes são caracterizadas por ser uma elevação temporária do nível d'água normal da drenagem devido a um acréscimo de descarga, entretanto, na inundação o volume de água não se limita a calha principal do rio e extravasa para as margens do rio, usualmente não ocupada pelas águas.

Assim, para evitar possíveis impactos que podem ser ocasionados por esses processos são necessárias aplicações de medidas de controle de inundações em áreas urbanas.

### **Medidas de controle de inundações**

Essas medidas de controle, tem como princípio de execução a transferência rápida das águas para jusante, alterando as características do ambiente natural dos rios e córregos que podem acarretar no aumento da frequência das inundações numa dada região. Nesse sentido, atualmente, tem sido desenvolvida técnicas de controle na fonte, que se baseiam na retenção e na infiltração das águas oriundas dos processos hidrológicos e colaboram para a sustentabilidade dos sistemas (TOMINAGA, 2013).

Essas medidas se dividem em não estruturais e estruturais. As medidas não estruturais estão relacionadas as medidas preventivas pelas normativas, legislações e programas que visam reduzir danos ou consequências por meio do zoneamento de áreas de inundação, manutenção dos dispositivos de drenagem, implementação de um sistema de alerta ligada a Defesa Civil por meio de um sistema de previsão e alerta, necessitando de um sistema de obtenção e processamento de dados e modelos matemáticos (CAPRARIO, 2017).

Segundo Rego (2018) as medidas estruturais são intervenções de pequeno e médio porte, que visam controlar o escoamento em grandes áreas, por meio da detenção, retenção e infiltração.

Assim, para que o controle da inundação seja efetiva, é necessário um agrupamento de medidas de controle, garantindo dessa forma que a população obtenha a menor quantidade possível de prejuízo, gerando também uma relação harmoniosa com o rio (TOMINAGA, 2013).

### Mapeamento de áreas sujeitas a inundações

O mapeamento de áreas sujeitas a inundações traz consigo extrema importância no planejamento territorial, principalmente sob a perspectiva de subsidiar a prevenção de desastres naturais frente ao crescimento populacional (CAMPOS et al., 2014).

Segundo Jantsch et al. (2017), existem dois tipos de mapas de inundações urbanas: mapas de planejamento e mapas de alerta. Os mapas de planejamento, também conhecidos como mapas de perigo mostram as áreas que provavelmente serão afetadas pelas inundações em um dado tempo de retorno. Já os mapas de alerta, ou seja, os mapas de risco, são preparados a partir da coleta de valores das cotas em cada esquina da área de risco, permitindo o acompanhamento das enchentes pelos moradores.

O conceito de perigo relaciona-se com a probabilidade de ocorrência do processo ou evento num dado período de tempo na área de influência. Assim, relaciona-se com os fatores transitórios, ou seja, a chuva e a sua distribuição temporal na bacia, passíveis de análise estatística (MONTEIRO; KOBIYAMA 2013).

Segundo Campos et al. (2014), o risco é decorrente do número de pessoas feridas, óbitos e impactos econômicos, em função de um dado fenômeno monitorado, numa escala espacial e temporal. O risco implica a proximidade de um dano ou adversidade o que pode afetar a vida humana, ou seja, a existência de uma situação de risco está intrinsecamente ligada à percepção da população que habita aquela região.

### Carta de perigo e risco às inundações

Para Monteiro e Kobiyama (2013), o mapa de perigo de inundação contém informações sobre probabilidade e/ou magnitude de um evento. Os autores ainda propõem uma adaptação da caracterização de perigo em função do período de retorno (frequência de inundação) e as alturas de cota de inundação, com base em Prevene (2001).

As alturas da lâmina d'água e o tempo de retorno utilizados no presente estudo, apresentados na tabela 1 foram obtidos através da curva chave obtida por Silva e Coelho (2022) e a equação IDF da estação de Vitória.

Tabela 1 – Alturas atreladas ao período de retorno.

Período de retorno (anos)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Altura da lâmina d'água (m)
5	83,743	2,92
20	128,876	3,59

100	178,911	4,19
200	676,93	8,00

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Silva e Coelho (2022).

Tabela 2 – Probabilidade de perigo.

Probabilidade	Período de retorno	Probabilidade de superar
Alta	5 anos	20%
Média	20 anos	5%
Baixa	100 anos	1%
Muito baixa	200 anos	<0,5%

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Monteiro e Kobiyama (2013).

Segundo Tominaga, Santoro e Amaral (2016), o conceito de risco é entendido como a probabilidade de acontecer alguma perda esperada, em função das características de vulnerabilidade de uma determinada localidade alvo de análise. Aplicando-se a definição do risco aos principais atributos identificados em áreas ocupadas, conforme apresentado por Hora e Gomes (2009), quanto à inundação, tem-se a equação (1):

$$\text{Risco} = \sum(\text{TR}) * \{(\text{Vulnerabilidade da Tipologia}) * [((\text{Altura de Inundação} * 2) + (\text{Densidade Populacional} * 5) + (\text{Densidade de Habitações} * 3)) / 10]\} \quad (1)$$

Sendo:

Tempo de retorno (TR): 5, 20 e 100 anos com probabilidade de 0,2; 0,05 e 0,01, respectivamente. Vulnerabilidade da tipologia: 1 para as áreas urbanas e os demais usos, com valores de 0,05. Altura da lâmina: apresentada na tabela 1.

Densidade Habitacional: representa o número de habitações que pode ser atingida em cada uma das chuvas com TR analisados.

Densidade populacional: densidade habitacional multiplicado por 4 habitantes por residência.

## METODOLOGIA

### Carta de Perigo a inundações

A carta de perigo a inundações foi obtida por meio das etapas representadas no fluxograma da Figura 1.

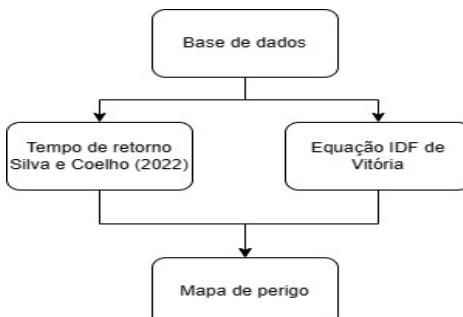


Figura 1 – Fluxograma para obtenção da carta de perigo a inundações.

## Carta de risco a inundações

A carta de risco a inundações foi obtida por meio das etapas representadas no fluxograma da Figura 2.

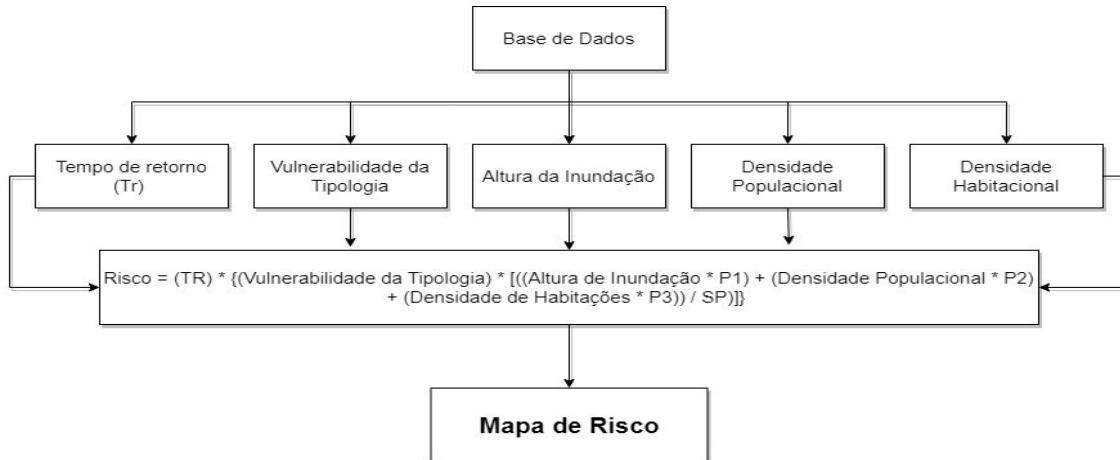


Figura 2 – Fluxograma para obtenção da carta de risco a inundações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Carta de Perigo a inundações

A carta de perigo a inundações da cidade de Iconha considerando os tempos de retorno de 5, 20, 100 e 200 anos está apresentada na Figura 3. Analisando essa carta, nota-se que caso ocorra uma chuva com tempo de retorno de 5 anos as regiões planas da cidade, com cotas próximas a do rio Iconha, apresentam alta probabilidade de serem inundadas.

Segundo Prevene (2001), nessas áreas classificadas como nível alto as pessoas estão em perigo, tanto dentro quanto fora de suas casas caso ocorra algum evento hidrológico de grande magnitude, visto que, as construções estão em alta possibilidade de serem destruídas.

Em relação as classes médias e baixas não foram possíveis verificar o aumento de maneira expressiva das manchas de perigo a inundações, devido ao nível de detalhamento das informações disponíveis. Embora não seja expressivo, o aumento da cota de inundação colabora para o aumento da planície de inundação e consequentemente atinge residências que não eram consideradas no tempo de retorno de 5 anos. Assim, as construções talvez sofram danos e podem ser destruídas e as pessoas correm possibilidade de fatalidades fora de suas casas.

Ao que se refere o tempo de retorno de 200 anos que foi o calculado para o evento de chuva de 2020, esse foi definido considerando a análise feita por Guzzo e Rigo (2024) a respeito da chuva ocorrida em 17/01/2020 em que utilizaram as estações com dados subdiários (pluviôgrafos) no entorno da bacia do rio Iconha e compararam com os quantis de chuvas definidos pela curva de precipitação, duração e frequência (PDF) elaborada para a estação pluviométrica com dados diários de Iconha (02040005). Eles verificaram que o evento medido de chuva na estação de dados subdiários, foi próximo a TR de 1.000 anos quando comparado

com a curva de PDF da estação com dados diários (que está dentro da bacia do Rio Iconha). Para um TR de 200 anos a mancha de inundação se espalha a montante atingindo diversas construções que não seriam consideradas em outros tempos de retorno, entretanto, as probabilidades de um evento assim novamente ocorrer são muito baixas e, caso sejam feitas medidas de controle visando o atendimento desse cenário o investimento pode ser muito alto

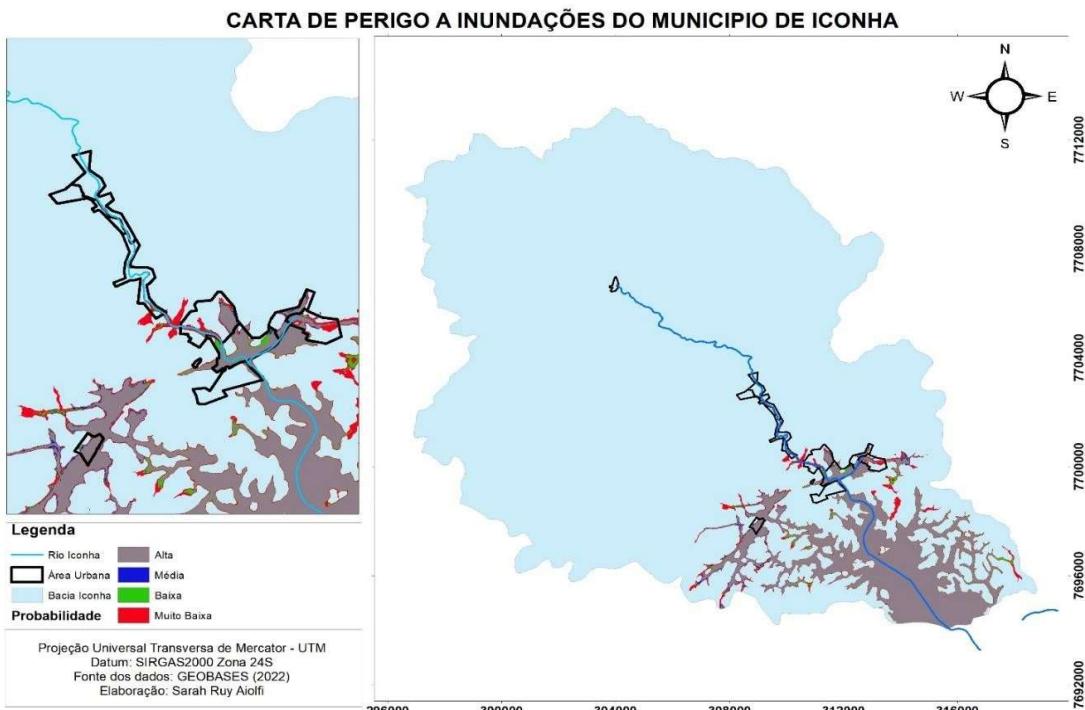


Figura 3 – Carta de perigo a inundações para a cidade de Ikonha.

### Carta de Risco a inundações

A Tabela 3 apresenta a quantidade estimada de domicílios e habitantes que podem ser atingidos pelas cheias de acordo com cada tempo de retorno. Analisando essa tabela é possível observar que no tempo de retorno de 5 anos, 201 domicílios foram identificados dentro da cota de inundação e consequentemente 804 pessoas podem ter que deixar suas casas nesse evento.

Caso a cidade seja acometida por um evento cujo tempo de retorno se aproxime dos 100 anos, estimasse que 303 domicílios e por conseguinte 1212 habitantes da região podem necessitar de apoio dos órgãos competentes. E por fim, se a cidade for impactada por um evento hidrológico semelhante ao de 2020, cujo tempo de retorno se aproxime de 200 anos, mais de 2200 pessoas que residem em 554 habitações, devem ter que deixar suas residências, devendo ser realocadas pelos órgãos responsáveis nessas emergências. Cabe destacar que, os resultados encontrados na pesquisa estão de acordo com os registrados nos noticiários do evento de 2020 (G1,2020). Visto

que, mais de 2200 famílias foram afetadas nesse evento hidrológico extremo.

Tabela 3 – Quantidade estimada de domicílios (D) e habitantes (H) atingidos pelas cheias na cidade de Iconha.

Uso e ocupação do solo	Tempo de retorno							
	5		20		100		Evento de 2020	
	D	H	D	H	D	H	D	H
Área residencial	201	804	279	1116	303	1212	554	2216

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Analizando a composição percentual de áreas de risco às inundações para a cidade de Iconha apresentada na Tabela 4, é possível observar que 62,25% da cidade possui risco baixo de sofrer com grandes inundações, em contrapartida, 37,75% da cidade dispõe de risco alto/muito alto de ser acometida por esses eventos. Esse fato está associado principalmente pelos usos e ocupações do solo, visto que a cidade dispõe de grandes áreas de cultivo e pastagem, e também com o relevo que varia de levemente ondulado até montanhoso dentro da área urbana do município.

Tabela 4 – Composição percentual de áreas de risco às inundações para a cidade de Iconha.

Classes	Área (ha)	Área (%)
Baixo	41,348	62,25%
Alto	25,07	37,75%

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Ponderando a carta de risco a inundações para a cidade de Iconha disposta na Figura 4, nota-se que as regiões próximas ao corpo receptor são as mais suscetíveis a possuir inundações caso ocorra algum evento hidrológico no local. Dessa forma, as áreas de maior risco recomendam-se a remoção de todas as famílias, que deve estar associada a implantação imediata de áreas de recreação e lazer, com instalação de campos de futebol, ciclovias, quiosques, etc., bem como a preservação da mata ciliar que é área de preservação permanente, evitando dessa forma novas ocupações irregulares nas margens nas margens do rio.

### CARTA DE RISCO A INUNDAÇÕES DO MUNICÍPIO DE ICONHA

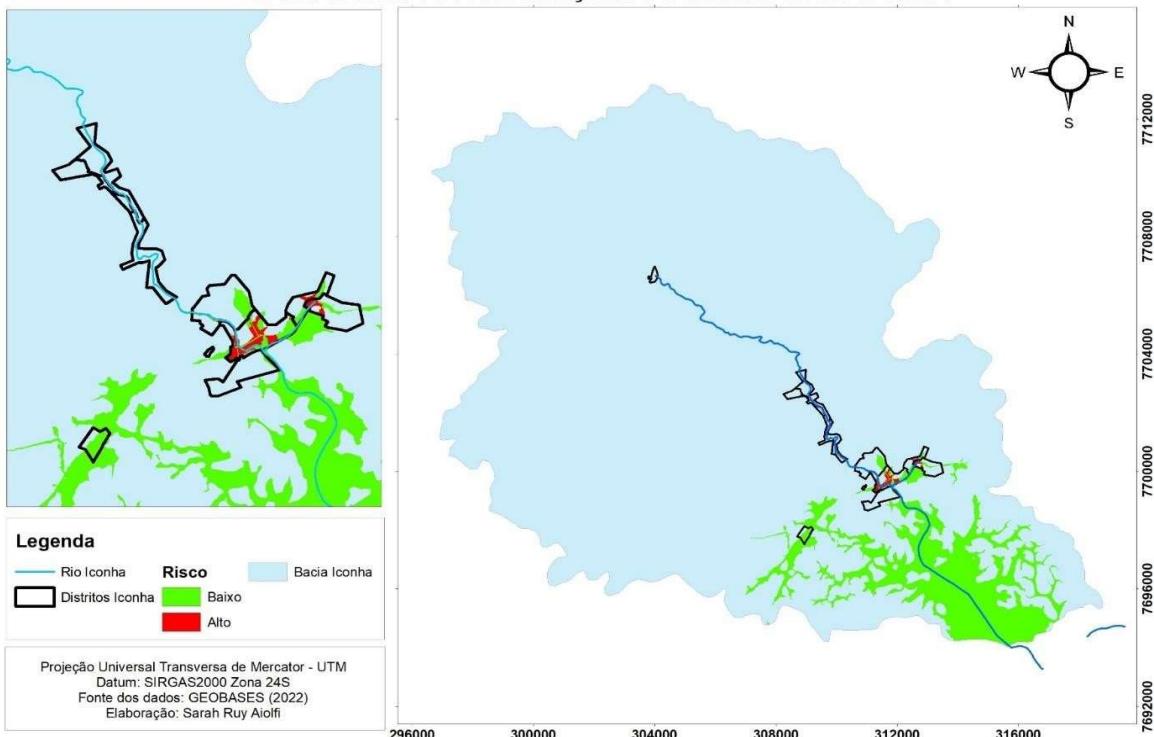


Figura 4 – Carta de risco a inundações para a cidade de Iconha.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cidade de Iconha foi desenvolvida em grande parte na mesma cota, ou em cotas próximas do corpo receptor, tendo altas probabilidades de que ocorram processos de inundação na localidade. A análise das cartas de perigo e risco de inundações na cidade de Iconha evidencia a vulnerabilidade significativa da área, especialmente em relação a eventos hidrológicos com baixos tempos de retorno. A probabilidade de inundações em regiões planas, próximas ao rio, destaca a necessidade urgente de medidas preventivas, considerando que uma chuva com retorno de 5 anos pode afetar centenas de domicílios e milhares de pessoas. Isso demonstra não apenas o potencial destrutivo das inundações, mas também a importância de se desenvolver estratégias de mitigação e adaptação.

Além disso, os dados indicam que uma parcela considerável da cidade enfrenta um risco elevado, com 37,75% das áreas categorizadas como de alto risco. A combinação de uso do solo, como áreas de cultivo e pastagem, e o relevo da região contribui para essa situação. Portanto, é fundamental que o planejamento urbano inclua a identificação e a requalificação de espaços vulneráveis, promovendo um uso sustentável e consciente do território.

As recomendações para a remoção de famílias de áreas de alto risco e a criação de espaços de lazer e preservação ambiental são passos essenciais para reduzir a exposição a inundações

futuras. A implementação dessas ações pode não apenas proteger a população, mas também promover a resiliência da comunidade frente a eventos climáticos extremos, garantindo um futuro mais seguro e sustentável para Iconha.

As informações técnicas deste estudo podem subsidiar as políticas públicas na adoção de medidas relacionadas ao desenvolvimento de regiões e a gestão dos recursos hídricos, com o intuito de mitigar os impactos das inundações, seja por meio da implantação de infraestrutura (medidas estruturais) ou de políticas públicas (medidas não estruturais), em trechos estratégicos do município de Iconha.

## REFERÊNCIAS

- BARRA,G.G ; TEIXEIRA,B.A.DO, *Análise da permeabilidade e dos métodos de instalação de pavimentos permeáveis: contidos em artigos científicos e em catálogos técnicos*, Minas Gerais, p.12-13, out.2015.
- CAPRARO, J. Desenvolvimento de um instrumento para o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamento e inundações urbanas, Florianópolis, SC, 2017.
- CAMPOS, S. J. A. M.; STEFANI, F. L.; PAULON, N.; FACCINI, L. G.; BITAR, O. Y. *Mapeamento de áreas sujeitas à inundações para planejamento e gestão territorial: cartas de suscetibilidade, perigo e risco*. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental, 2014.
- COSTA, A.H.A. *Simulação dos impactos da urbanização sobre as inundações urbanas na Bacia Hidrográfica do Rio Cuia*. Dissertação (Mestrado em) – Universidade Federal da Paraíba, 2013.
- G1. Sobe para sete o nº de mortos por causa da chuva no ES; mais de 2,2 mil pessoas estão fora de casa. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/es/espírito-santo/noticia/2020/01/21/sobe-para-sete-o-no-de-mortos-por-causa-da-chuva-no-es-mais-de-22-mil-pessoas-estao-fora-de-casa.ghtml>.
- GUZZO, R.; RIGO D. *A catástrofe de Iconha/es de janeiro de 2020: Avaliação Hidrológica e hidrodinâmica bidimensional*. IV Encontro Nacional de Desastres – 08 a 11 de outubro de 2024 – Curitiba, Paraná - ISSN 2764-9040.
- HORA, S. B.; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundaçāo do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. Sociedade & Natureza, Uberlandia, v. 21, no 2, Ago. 2009.
- JANTSCH; M. MODRO, N. R.; SOUSA, A. L.; SALMOLIN, L. C. *Modelo de Visualização de Cotas de Inundação (O Caso de Rio Negrinho)*. 2º Congresso Nacional de Inovação e Tecnologia – 19 a 21 de setembro de 2017 – São Bento do Sul, SC, INOVA 2017
- MATA-LIMA, H.; BORBA, A. A.; PINHEIRO, A.; MATA-LIMA, A.; ALMEIDA, J.A. *Impactos dos desastres Naturais nos sistemas ambientais e socioeconómicos: O que faz a diferença?*. Revista Ambiente e Sociedade, São Paulo v. XVI, n.3. 2013.
- MONTEIRO, L. R.; KOBIYAMA, M. Proposta de metodologia de mapeamento de perigo de inundaçāo. REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina, São Paulo, v. 10, n.2, 2013.
- SILVA, Carla Voltarelli Franco. *Planejamento do uso e ocupação do solo urbano integrado ao mapeamento de áreas com risco de inundaçāo*. Dissertação (Mestrado) mestre em engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- Silva, Maira Rosa Ferreira da. Coelho, Rafael de Barcellos. Análise comparativa entre as manchas de inundaçāo geradas no modelo HAND, atrelado a equação da curva-chave, e nos modelos HEC-

HMS e HEC-RAS para diferentes períodos de retorno na sede do município de Iconha – ES, 2023. REGO,F.G. Jacobina: Chuva causa alagamentos em ruas; casa desabou após temporal. Bahia Notícias, Bahia, fev.2018.

PAULO, Deisy Pereira. *Gestão de resíduos de desastres naturais: estudo de caso sobre chuvas intensas no estado do Espírito Santo, Brasil.* 2019. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Sustentáveis, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019. PEZANTE, Maria Fernanda Miranda. *Relação entre urbanização e rios: Um estudo da cidade de Francisco Beltrão (PR).* 215 f. Dissertação (Mestrado) - o Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2018.

TOMINAGA, E. N. S. *Urbanização e cheias: Medidas de controle na fonte,* São Paulo, 2013. TOMINAGA, LÍDIA KEIKO; SANTORO, JAIR; AMARAL, ROSANGELA DO. *Desastres naturais: conhecer para prevenir.* 3<sup>a</sup> ed. - São Paulo, Instituto Geológico, 2015.

TUCCI, C. E. *Regulamentação da drenagem urbana no Brasil.* REGA, Porto Alegre, v. 13, n.1, p. 29-42, jan/jun 2016.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION-UNISDR. *Marco de Ação Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030.* 18 mar. 2020.

## AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Estudos em Modelagem Ambiental e Sustentabilidade - GEMA/IFES/ES.