

Quanto tempo de vida? A sobrevida de pessoas em incêndios em dormitório residencial, com o uso do Fire Dynamics Simulator- FDS.

C. Corrêa^{1,2*} , W. Martins^{1,2} , A. Castro², M. Lopes², B. Ferrari Junior³

* Autor de Contato: cristianocorreacbmpe@gmail.com.br

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i3.807>

Recebido: 15/04/2025 | Correções recebidas: 07/07/2025 | Aceito: 13/08/2025 | Publicado: 01/09/2025

RESUMO

Este artigo traça um prognóstico das condições de sobrevida de vítimas de incêndio num dormitório em edifício tipo residencial, através do programa computacional Fire Dynamics Simulator - FDS. A partir de uma contextualização sobre as mortes causadas por incêndio no mundo e no Brasil, vê-se que a grande maioria dos óbitos se dão em ambientes residenciais. Diante da lacuna preventiva nesses ambientes, analisou-se as concentrações letais de monóxido e dióxido de carbono, bem como temperatura máxima e concentração de oxigênio mínima e estimou-se tempo máximo que ocupantes do dormitório passam nas quatro posições de interesse, considerando pessoas com dificuldades de locomoção, verificando que o ambiente se torna letal em no máximo 8 minutos após o início das chamas, nas posições estudadas.

Palavras-chave: incêndio em dormitório; incêndio residencial; investigação de incêndios; sobrevida em incêndios.

Citar como: Corrêa, C., Martins, W., Castro, A., Lopes, M., Ferrari Junior, B. (2025), "*Quanto tempo de vida? A sobrevida de pessoas em incêndios em dormitório residencial, com o uso do Fire Dynamics Simulator- FDS.*", Revista ALCONPAT, 15 (3), pp. 384 – 405, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i3.807>

¹Universidade Federal de Pernambuco – Pós-Graduação de Engenharia de Incêndio, Recife, Brasil.

²Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco - CBMPE, Recife, Brasil.

³Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo - CBMES, Vitória, Brasil.

Contribuição de cada autor

Neste trabalho, o autor C. Corrêa contribuiu com a concepção da pesquisa, escrita e revisão do texto, o autor W. Martins contribuiu com o desenvolvimento do código fonte e simulação computacional, o autor A. Castro contribuiu com a revisão dos trabalhos em FDS no Brasil e no mundo com interface no objeto desta pesquisa, o autor M. Lopes realizou a pesquisa bibliográfica dos incêndios com vítimas no mundo, o autor B. Ferrari Junior foi o orientador da pesquisa e revisou os escritos.

Licença Creative Commons

Copyright (2025) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no segundo número do ano 2026, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do primeiro número do ano de 2026.

How long to life? The survival of people in fire of a residential bedroom using Fire Dynamics Simulator - FDS

ABSTRACT

The paper provides a prognosis of the survival conditions of victims of a fire in a dormitory in a residential building, using the Fire Dynamics Simulator-FDS computer program. Based on a contextualization of deaths caused by fire in the world and in Brazil, most deaths occur in residential environments. Given the preventive gap in these environments, lethal concentrations of carbon monoxide and dioxide were analyzed, as well as the temperature and minimum oxygen concentration. The maximum time that occupants of the dormitory would remain in the four positions was estimated, considering people with mobility difficulties. It was found that the environment becomes lethal in a maximum of 8 minutes after the fire, in the positions studied.

Keywords: dormitory fire; residential fire; fire investigation; fire survival.

¿Cuánto tiempo vivir? La supervivencia de las personas en incendios de dormitorios residenciales, con el uso de FDS.

RESUMEN

The paper provides a prognosis of the survival conditions of victims of a fire in a dormitory in a residential building, using the Fire Dynamics Simulator-FDS computer program. Based on a contextualization of deaths caused by fire in the world and in Brazil, most deaths occur in residential environments. Given the preventive gap in these environments, lethal concentrations of carbon monoxide and dioxide were analyzed, as well as the temperature and minimum oxygen concentration. The maximum time that occupants of the dormitory would remain in the four positions was estimated, considering people with mobility difficulties. It was found that the environment becomes lethal in a maximum of 8 minutes after the fire, in the positions studied.

Palabras clave: incendio en dormitorio; incendio residencial; investigación de incendios; supervivencia al fuego.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. +52 1 983 419 8241, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo, No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios em edificações no Brasil, a despeito de sua frequência, ainda não são conhecidos integralmente (Rodrigues *et al.*, 2017). As edificações mais suscetíveis a estes sinistros, sua ocupação, capacidade de resiliência e principalmente capacidade de sobrevida em seu interior, constituem informações ainda não consolidadas no país (Hahnemann *et al.*, 2017).

Contudo, estudos recentes sobre incêndios urbanos em algumas regiões do Brasil, apontam para uma maior predominância em edificações residenciais (Corrêa *et al.*, 2015; Falcão, 2024).

Destaca-se ainda, em meio às pesquisas desenvolvidas no país, que em certas regiões a grande predominância, dos óbitos e lesões graves, são provenientes de incêndios em residências: multifamiliares e principalmente unifamiliares (Santos, Corrêa e Krüger, 2024; Menezes e Corrêa, 2022; Carneletto, Castro e Araújo, 2019; Santos, 2016), deixando claro a importância de estudar esse tipo de incêndio com uma lupa acurada.

No que concerne à sobrevida e a capacidade de resistência às situações extremas, em ambientes onde altas temperaturas e gases são desprendidos, é de suma importância delinearlos como objeto de estudo e assim desenvolver métodos que simulem tais condições extremas.

É verdade que muitos estudos utilizam componentes estruturais submetidos a grandes temperaturas, através do uso de fornos especiais e painéis radiantes na busca de decifrar o comportamento destas estruturas em situação de incêndio (Costa, Pires, Rêgo Silva, 2023; Vasconcelos, Pires, Rêgo Silva, 2024; Laim *et al.*, 2014), constituindo-se em pesquisas muito relevantes à engenharia da construção. Porém a interação e a dinâmica dos componentes da carga-incêndio (objetos que queimam), o comportamento das ondas térmicas, o fluxo e efeitos dos gases inflamáveis, impõem maior dificuldade em ser simulados precisamente em fornos ou laboratórios, sendo por vezes necessária a construção de experimentos específicos.

Os experimentos de incêndios naturais em escala real são eventos ainda raros no Brasil (Corrêa *et al.*, 2017; Braga *et al.*, 2021) e na América Latina, visto os consideráveis riscos e altos custos das simulações.

Alguns estudos utilizam edificações que sofreram incêndios para, através dos testemunhos e análises do cenário, estimar o evento (Pignatta e Silva *et al.*, 2007; Silva Filho *et al.*, 2011; Henneman *et al.*, 2018; Braga, 2022). Nestes casos o monitoramento da dinâmica do incêndio é perspectivo, geralmente recorrendo também à simulação computacional.

Pode-se alcançar resultados bem próximos da realidade com uso de softwares de simulações, utilizando a ‘dinâmica dos fluidos computacional’ (CFD), por serem mais precisos do que os cálculos de engenharia feitos à mão, que nem sempre, traduzem situações comuns e inesperadas no processo de interação entre a dinâmica do incêndio e a tomada de decisão dos ocupantes do imóvel sinistrado, ou explicando a falta delas. Em muitas situações, estes softwares reproduzem de forma idênticas os incêndios (McGratran *et al.* 2019).

Assim, estudar as condições de sobrevida de vítimas no âmbito de residências incendiadas é algo preponderante, para mitigar as centenas de vidas ceifadas (Corrêa, 2024a) anualmente em ocorrências dessa natureza no Brasil.

Os dados obtidos nesta pesquisa, atrelados a ausência de dados oficiais sobre o tema central do artigo, diretamente ligados às variáveis envolvidas, chama a atenção para novas discussões e pesquisas relacionadas a produção de monóxido de carbono (principalmente), gás carbônico, baixos percentuais de oxigênio e a elevação da temperatura a níveis letais, durante os incêndios urbanos, já que são os que apresentam mais efeitos nocivos e letais. O estudo apresenta também, dados importantes sobre quais posições e proximidade com as chamas e fumaça traria mais consequências danosas a vida humana. Destaca-se que o ambiente usado na simulação foi um dormitório (cômodo com maior incidência do foco inicial em sinistros residenciais na Região Metropolitana do Recife - RMR) contendo o mobiliário, estrutura e dimensões padrões de

edifício modais aferidos em mais de 1.000 incêndios ocorridos na cidade do Recife, durante um triênio (Corrêa, 2017). A ideia central do Artigo é a busca de um tempo resposta mínimo, satisfatório às ações de proteção e socorro às vítimas de incêndios estruturais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico discute-se, através do rememorar de trabalhos técnicos e científicos, alguns dos supedâneos conceituais que balizam a pesquisa, necessários para a compreensão do estudo e seus resultados.

2.1 Modelos Computacionais e Incêndios

De acordo com Kuligowski *et al.* (2010) os três grupos básicos, de modelos computacionais aplicados ao estudo de vítimas em incêndios, variam de acordo com os dados inseridos ao modelo, os quais destacam-se:

- Modelos de comportamento: Que simulam as combinações de tomada de decisão e movimentação em rotas até um local seguro, bem como, presença de fogo e fumaça e situações de desmaios e óbitos. São exemplos desses modelos os seguintes softwares: STEPS, BuildingEXODUS, Legion, MassMotion;
- Modelos de movimento: Que simulam para uma população homogênea, fluxo e velocidade de movimentação. Estes podem ser úteis em demonstrações de áreas de congestionamento e gargalos nos espaços do edifício. Pode-se citar o Wayout como exemplo de software;
- Modelos de comportamento parcial: Nestes modelos simula-se movimentação e comportamentos pré-determinados pelas variáveis de tempo de pré-evacuação, características individuais e mudança de posição entre os ocupantes. Enquadram-se nessa categoria os seguintes softwares: EXIT89, Simulex, Pathfinder, GridFlow.

2.2 Pesquisas com Fluidodinâmica Computacional em Incêndios, no Brasil

Fazendo uso dos softwares como o FDS, PyronSim, SmartFire entre outros, é possível reproduzir a dinâmica dos gases aquecidos e movimentação de fumaça em ambientes compartimentados, com custos reduzidos.

Nesse contexto e utilizando o roteiro traçado por Tabaczinski *et al.* (2017), destacam-se alguns trabalhos de simulação de cenários de incêndios no Brasil, com o auxílio de programas computacionais, mais precisamente o FDS, os quais apresentar-se-ão alguns deles a seguir.

Alves, Campos e Braga (2008) utilizando FDS e o SIMULEX, sendo este um outro programa computacional de análise fluidodinâmica de gases, reproduziu um edifício comercial e analisou a influência da fumaça na evacuação das pessoas pelas rotas de fuga, estando estas dimensionadas dentro das normas de SCI. Comprovaram assim, a importância do emprego dos aplicativos computacionais na fase de projeto das rotas de fuga, bem como na proposição de soluções de projeto e modificações nas normas vigentes que regem o tema.

Braga e Landim (2008) realizaram uma simulação em FDS de um incêndio residencial em 2007 na cidade de Brasília como parte de uma investigação do incêndio, objetivando testes de hipóteses de possíveis locais de origem. Com o estudo, concluíram que ambientes da edificação podem ter atingido 1.000°C, observaram características que coincidiam com registros fotográficos do ambiente, e ressaltaram a importância da ferramenta computacional na investigação de sinistros de incêndio.

Rodrigues (2009) simulou compartimentação vertical em várias configurações de fachadas, aplicando a norma vigente brasileira que trata do assunto, utilizando modelo reduzido e simulação em FDS. Concluiu o autor que a compartimentação externa funciona como um impedimento para a propagação do fogo na fachada e que o uso da simulação computacional traz

aproximações bastante condizentes com a realidade, o que vem a ser uma poderosa ferramenta na concepção e aperfeiçoamento das proteções passivas.

Ruschel (2011) simulou em PyroSim e FDS um incêndio num shopping em Porto Alegre em 2007. A partir da coleta de amostras do sinistro e submetê-las a ensaios, e com a calibração do modelo, a autora pode variar os possíveis cenários do incêndio, inclusive com o acréscimo de dispositivos preventivos como chuveiros automáticos. Neste caso, a simulação auxiliou no entendimento do comportamento do fogo no ambiente em diferentes formas.

Fontenelle (2012) estudou a propagação do incêndio em tancagens industriais, submetidas a incidência ou não de ventos e providas ou não de sistemas de combate a incêndios do tipo dilúvio, no FDS. A partir de uma simulação computacional de um parque de tancagens hipotético, a autora estudou os efeitos do incêndio de um dos tanques, cheio de etanol, nos demais tanques distanciados de acordo com a norma. A autora concluiu através das observações que os parâmetros previstos nas normas não impedem a propagação do incêndio nos tanques vizinhos.

Carvalho (2013) simulou os efeitos da ventilação forçada em um incêndio em veículo em um túnel semelhante ao túnel Rebouças, na cidade do Rio de Janeiro. Utilizando o FDS, o autor avaliou temperatura, concentração de gases e fluxo de calor no túnel concluindo que a existência de um sistema de ventilação forçada é favorável aos usuários no tocante à temperatura e fluxo de calor e desfavorável com relação à presença de fumaça.

Brunetto (2015) estudou a dinâmica de temperatura, fluxo de calor e temperatura dos gases em uma edificação de ensino superior através de simulação computacional PyroSim e FDS. Nesse estudo pode ser observado a interferência da ventilação livre pelas fachadas na propagação das chamas e, conseqüentemente, a forma com que isso interfere na evacuação através da escada de emergência. A simulação pode apresentar solução para implementação de sistemas preventivos.

Mazzoni e Klein (2015) simularam em ambiente computacional utilizando Autocad 3D, PyroSim e FDS um incêndio em edificação na cidade de Porto Alegre, no intuito de analisar possíveis causas do sinistro levantadas pela perícia. Com o estudo, os autores analisaram os resultados como coerentes com os danos reais causados e constataram que a proteção passiva evitou a propagação das chamas, confirmando dados coletados pela perícia no local.

Cunha (2016) estudou configurações de compartimentação horizontal de uma sala de aula de uma edificação no FDS e os impactos na melhoria da segurança contra incêndio. O autor observou que aberturas maiores para exaustão, aumentaria o tempo para a fumaça tomar todo ambiente, melhorando o tempo de sobrevivência em evacuações dos locais sinistrados.

Carlos *et al.* (2016) estudou o controle de fumaça em um edifício parametrizado por normas europeias e o tempo de evacuação desta edificação, utilizando método de cálculo de Nelson e MacLennan (1995), a fim de analisar condições das pessoas de fuga do ambiente frente a temperaturas altas, visibilidade e gases provenientes dos produtos da combustão. Os autores concluem constatando a importância do controle da fumaça e a ausência de informações dos índices de projetos para controle de fumaça nas normas europeias.

Mariani e Carlos (2017) simularam em FDS e Evac uma edificação do tipo restaurante com dois pavimentos e a eficácia da aplicação de parâmetros constantes nas normas Brasileiras e Portuguesas no que concerne às saídas de emergência. Os autores utilizaram o método de Nelson e MacLennan (1995) para determinação do tempo de evacuação e verificaram influência da temperatura e camada de fumaça relacionada a esta evacuação. Concluem os autores que a observação tão somente da norma aplicada ao tema evacuação, como saídas de emergência e quantidade de unidades de passagens não impedem a ocorrência de possíveis óbitos.

Matos (2017) analisou em FDS a vazão mássica entre compartimentos conjugados de uma edificação residencial interligados por vários cenários de aberturas, e comparou os resultados obtidos com valores experimentais e analíticos. O autor concluiu que há uma boa

representatividade dos resultados obtidos com os dados experimentais colhidos.

Acrescenta-se aos trabalhos dissecados por Tabaczinski e coautores (2017), o importante estudo investigativo, no qual Cunha, Lugon e Bona (2018) usaram o FDS para avaliar uma hipótese de incêndio-explosão na cidade de Vila Velha – ES. Os autores simularam o vazamento de Gás Liquefeito de Petróleo (Propano e Butano) no cenário sinistrado, e através do tempo médio aferido na investigação, verificaram a compatibilidade da concentração gasosa e o uso do interruptor, terem sido a causa inicial do fatídico evento (Cunha, Lugon e Bona, 2018).

2.3 Mortes em Incêndios

No Brasil não se têm estatísticas emitidas pelos órgãos oficiais de Segurança, de quantas pessoas são acometidas por lesões ou tem suas vidas ceifadas no país, em decorrência dos incêndios (Corrêa, Duarte, Braga, 2018).

Assim, dentro dos estudos disponíveis, destacam-se alguns como o apresentado em 2015 pelo Instituto Sprinkler Brasil, baseado no cruzamento de informações do Sistema Único de Saúde (SUS) e Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP) que revelou 1.051 mortes por contato direto com temperatura e gases ou em decorrência desses, durante os incêndios ocorridos no Brasil, no período de 2009 a 2011.

Outro estudo publicado por Corrêa (2024b), mostrou que as mortes no Brasil, provocadas diretamente por incêndios ou por suas consequências, revelam a quantidade alarmante de mais de **dois mil e setecentos óbitos**, em um triênio (2017-2019).

Conforme o mesmo estudo, distribuindo-se os 737.199 casos de incêndios ocorridos entre os anos de 2017 a 2019, tem-se uma média diária de 682 incêndios, distribuídos entre os 26 Estados da Federação e o Distrito Federal. Ainda com base nesse estudo, verifica-se também que nos dez Estados de maior população (São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraná, Bahia, Rio Grande do Sul, Pará, Ceará, Santa Catarina e Pernambuco), houveram 2.165 mortes em incêndios no período, com a média diária de 1,97 óbitos, para o período estudado (Corrêa, 2024b).

Quanto as especificidades dos incêndios que promovem mortes e feridos no Brasil, têm-se alguns estudos regionais que merecem destaque:

Santos (2024) ao estudar os incêndios com vítimas em Belo Horizonte, afirma:

Foram identificadas 1.371 ocorrências de incêndios em edificações, das quais **62,14%** (852) aconteceram **em habitações unifamiliares ou multifamiliares**. Em **133 ocorrências foram registradas vítimas mortas ou feridas**, totalizando **166 vítimas**, sendo 8 delas fatais. Em 53% das ocorrências as vítimas eram do sexo masculino. Em relação às faixas etárias, observou-se que os adultos de 20 a 60 anos correspondem a 72,89% (121) dos casos, enquanto os idosos acima de 60 anos representam 24,09% (40) e as crianças até 10 anos apenas 0,6% (1). A distribuição dos registros ao longo do ano mostrou que os meses de abril, julho e setembro corresponderam a 35,3% (47) das ocorrências, enquanto fevereiro, agosto e dezembro somente 15,03% (20). Durante a semana, notou-se certa tendência de crescimento do número de registros à medida que se aproxima o fim de semana (sábado e domingo), que corresponde a 40% dos registros. Ao longo do dia foram identificados horários críticos, como de 02 às 03h e de 23 às 00h. Observou-se também certa concentração dos incêndios com vítimas no período de 21h00 e 06h00, o que correspondeu a 45,9% (61) dos eventos.

Carnielletto, Castro e Araújo (2019) ao estudar uma década de incêndios no Paraná trazem que entre 2005 e 2016 foram registradas 2.168 ocorrências, especificamente em edificações residenciais térreas. Fazendo um importante alerta quanto aos óbitos havidos neste tipo de sinistro (incêndio em edificação residencial):

Quando observados as porcentagens dos óbitos em edificações, como na figura 4, as residenciais de pavimento térreo oscilam entre 75% em 2015 e 100% em 2010, obtendo uma **média de aproximadamente 87%**, o que nos traz uma porcentagem alta quando se observa somente um grupo separado de ocorrências. (Carnielletto, Castro e Araújo, p.98)

Já Santos (2016) ao defender o uso de detectores de incêndios em edificações residenciais afirma: apesar de 7% dos incêndios ocorrerem em residências unifamiliares, estes ocasionam 80% das mortes. Estas edificações não possuem normas ou legislações nacionais que regulamentem sistemas específicos de proteção contra incêndio (Santos, 2016, p.262).

Tais assertivas baseiam-se no triênio de 2012-14, tendo como objeto o Estado de São Paulo (Santos, 2016).

Menezes e Corrêa (2022) ao estudar os incêndios com vítimas na Região Metropolitana do Recife, no período de 2013-16, apontam:

Apresentando-se em 1/3 de todos os incêndios registrados na RMR, os incêndios em habitações ganham destaque por serem os protagonistas em causarem mortes e feridos. Como fator catalisador, tem-se a ausência de sistemas preventivos em edificações unifamiliares, que segundo os dados levantados nessa pesquisa representaram **94% dos incêndios que acarretaram em mortes e 88% dos que ocasionaram ferimentos nas vítimas** (Menezes e Corrêa, 2022, p.1506).

As mortes e lesões derivantes dos incêndios em edificações residenciais, não são um problema exclusivo do Brasil, ao avesso em outras partes do mundo estes também são um problema grave, aqui faz-se alguns recortes para ilustrar esta assertiva.

O estudo publicado por Xiong *et al.* (2022) que analisou as características dos incêndios urbanos no período de 1999 a 2019 na China, visando traçar um padrão estatístico que pudesse explicar causas, efeitos e danos, tendo como principais fonte de informação o *Fire Statistics Yearbook*, publicado pelo Corpo de Bombeiros do Ministério da Segurança Pública da China, é usado nesta perspectiva.

Os dados estatísticos foram levantados apenas nas províncias que compõem a República Popular da China, excluindo-se os grandes centros populacionais de Hong Kong, Macau e Taiwan e que contou apenas os sinistros que provocaram danos pessoais (Xiong *et al.*, 2022).

Observa-se que o levantamento estatístico chinês elencou quatro indicadores de análise para medir a gravidade dos incêndios: 1. Quantidade de incêndios; 2. Quantidade de óbitos por incêndio; 3. Quantidade de feridos; e 4. Danos causados ao patrimônio; descrevendo uma frequência padrão para as duas décadas analisadas (Xiong *et al.*, 2022)

Observou-se também que a intensidade e a gravidade dos incêndios aumentaram devido a evolução dos elementos construtivos e de revestimentos utilizados, porém, o número de óbitos e feridos diminuiram consideravelmente comparados com os dados do séc. XX, onde os dados eram muito superiores. Finalmente o estudo chinês aponta que boa parte das vítimas que perdem a vida ou sofrem lesões em incêndios, no período estudado estavam em edificações residenciais.

Analisando também o estudo de Bispo, *et. al* (2023), intitulado: “Uma década de incêndios urbanos: acontecimentos portugueses entre 2013 e 2022”, com informações coletadas do banco de dados do Sistema de Gestão de Operações do Sistema Nacional de Emergência e Proteção Civil (SGO), onde são armazenados no Sistema de Apoio à Decisão Operacional (SADO), no qual os dados são registrados desde o alerta de chamado através do telefone nacional de emergência 112, foram coletadas 72.241 ocorrências de incêndio em área urbana (Bispo *et al.*, 2023).

O estudo português apresentou variáveis que definiram: 1. Quantidade de incêndios; 2. Região (distrito) originário; 3. Quantidade de vítimas adultas; 4. Quantidade de vítimas crianças; e 5. Distinção de sexo entre elas.

Constatou-se também nesse estudo, que **73% dos sinistros** ocorreram em **estruturas residenciais**, o que explica o **grande número de vítimas atingidas** definindo assim, um padrão para as ocorrências dessa natureza, onde desse total, os distritos com maiores índices foram Lisboa e Porto respectivamente com 18 e 16% dos sinistros registrados (Bispo *et al.*, 2023).

Destaca-se que estes dois casos (China e Portugal) foram dissecados apenas para caracterizar que, mesmo em cenários e culturas tão distintos, os incêndios em edificações residenciais, incluindo a mitigação de vítimas, são um fenômeno a ser enfrentado.

2.4 Os efeitos nocivos ao ser humano diante da concentração de gases e exposição ao calor

Conforme disposto na Tabela 1, são observadas as consequências da exposição a diferentes concentrações de gases (O₂, CO₂, CO) para seres humanos, destacando-se seus efeitos fisiológicos.

Para a primeira parte da Tabela 1, tem-se os valores de exposição definidos pela *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), *American Conference of Governmental and Industrial Hygienists* (ACGIH) e *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), que são entidades americanas que desenvolvem diretrizes, recomendações, normatizações e discutem, em suma, temas sobre substâncias químicas e a saúde e segurança do trabalho (OSHA, 2002; ACGIH, 1999; NIOSH, 1997).

Em relação aos efeitos térmicos para o corpo humano, tomou-se como referência o banco de dados da *National Fire Protection Association* (NFPA), que é uma organização internacional dedicada a estudos sobre incêndio e segurança (NFPA, 2006). O extrato pode ser também encontrado na Tabela 1.

Tabela 1. Efeitos fisiológicos por exposição a CO₂, O₂, CO e temperatura.

Parâmetros/ Gases	CO ₂ (ppm)	O ₂ (% vol)	CO (ppm)	TEMPERATU RA (NFPA, em °C)
Efeitos ao corpo humano	10.000 Sonolência	<19,5 Alguns efeitos fisiológicos adversos ocorrem, mas podem não ser perceptíveis.	400 Dor de cabeça; fadiga; tontura e náuseas em 1 a 2 horas. Inconsciência em 2 horas. Fatal logo após esse período.	< 60 Desconforto inicial, com aquecimento de vias aéreas superiores.
	15.000 Dificuldade respiratória leve.	15 a 19 Pensamento e atenção prejudicados; aumento de frequência cardíaca e respiratória; Coordenação reduzida; capacidade de trabalho reduzida; desempenho físico e intelectual reduzidos.	800 Sintomas praticados em 20 minutos. Fatal em 1 hora.	60 a 100 Queimadura de 1º grau, edemas das vias aéreas superiores, podendo gerar obstrução respiratória.
	30.000 Dificuldade respiratória moderada; aumento de frequência cardíaca; aumento de pressão arterial.	12 a 15 Capacidade de julgamento reduzida; coordenação motora prejudicada; fadiga anormal após esforço; perturbação emocional.	1.600 Sintomas praticados em 5 a 10 minutos. Fatal em 25 a 30 minutos.	100 a 150 Queimaduras de 2º grau ocorrem em poucos segundos; desidratação e hipertemia.

	50.000 Dificuldade respiratória alta; tontura; confusão mental; dor de cabeça; sensação de falta de ar.	10 a 12 Capacidade de julgamento e coordenação muito prejudicadas; respiração prejudicada, podendo causar danos cardíacos permanentes; possibilidade de desmaio em poucos minutos; náuseas e vômitos.	3200 Fatal em 10 a 15 minutos.	150 a 200 Queimaduras de 3º grau; danos pulmonares irreversíveis; perda de consciência em segundos.
	80.000 Visão turva; suor; tremor; inconsciência, possível morte.	<10 Incapacidade de locomoção; desmaio quase imediato; perda de consciência; convulsões; morte.	-	> 200°C Condições fatais quase imediatas.

Fonte: Adaptado de OSHA, 2002; ACGIH, 1999; NIOSH, 1997 e NFPA, 2006.

3. METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa consiste em propor parâmetros de termicidade e toxicidade (concentrações de CO, CO₂ e O₂) para estimar a sobrevida em incêndios em cômodos de residências, ou de outra forma identificar as liberações térmicas e toxicidades letais nestes mesmos ambientes.

Para tanto, observou-se um experimento controlado em escala real, em um quarto de um ‘edifício modal’ (Corrêa *et al.*, 2018) da Região Metropolitana do Recife, traçando prognósticos com o auxílio do programa de fluidodinâmica computacional denominado FDS (*Fire Dynamics Simulator*) sobre o tempo de sobrevida de uma vítima localizada em diferentes pontos do cômodo, tendo como fatores a serem observados no decurso do tempo valores de termicidade e toxicidade letais ao ser humano.

Tabela 2. Cálculo da área do edifício residencial modal – Incêndios em Recife (2011).

Área em m ²	Quant. Incêndios	Percentual do Total	Área Média em m ²	Fator Percentual	Média Ponderada em m ²
Até 25	06	8,96%	12,5	0,0896	1,12
26 a 50	20	29,85%	38	0,2985	11,34
51 a 75	15	22,39%	68	0,2239	15,23
76 a 100	11	16,42%	88	0,1642	14,45
101 a 150	9	13,43%	125,5	0,1343	16,85
151 a 200	2	2,98%	175,5	0,0298	5,23
201 a 300	1	1,48%	250,5	0,0148	3,73
301 a 400	0	-	350,5	0	0
401 a 500	0	-	450,5	0	0
501 a 650	0	-	575,5	0	0
Mais de 650	3	4,48%	650	0,0448	29,12
Totais	67	100%	-	1,0000	97,07

Fonte: Extraído de Corrêa *et al.*, 2018.

Ainda segundo Dornelas e Corrêa (2025) a edificação modal possui um pavimento contendo 03 quartos sendo 01 suíte, sala, cozinha e área de serviço e são do elemento construtivo tipo alvenaria.

Para definição da carga de incêndio padrão, realizou-se uma ponderação relacionada aos objetos atingidos nos incêndios estruturais no período de 2011-2013, compondo: 01 mesa em madeira; 01 Beliche em Madeira; 05 Camas em Madeira; 03 Armários em Madeira; 03 Guarda-roupas em Madeira/Aglomerados; 07 Colchões; 01 Estante em Madeira; 08 Cadeiras em Madeira; 01 Cadeira Plástica; 03 televisores; 01 DVD; 04 Ventiladores; 01 Ar condicionado; 02 Computadores; 01 Máquina de lavar; 01 Fogão; 01 Geladeira; 02 Cilindros de GLP; 01 Microondas; 02 Engradados de Bebidas; 05 garrafas de bebidas alcoólicas e 02 Sofás em Espuma. Tais objetos devidamente estimados (massa e composição) proporcionam uma carga incêndio aproximada, de 21.286,54 KJ (Dornelas e Corrêa, 2025).

Traçado o perfil construtivo, geométrico e do potencial calorífico de seus constituintes, foi reproduzido em escala real um dos quartos da dita edificação modal, num dos cômodos da oficina de combate a incêndio estrutural, a casa de fogo, conforme Figura 1 a seguir:



Figura 1. Ilustrações do ambiente ensaiado e distribuição dos termopares.

Fonte: Adaptado de Corrêa *et al.*, 2017.

A dinâmica do experimento consistiu em por uma fonte de ignição abaixo do beliche o que provocou um incêndio no móvel progredindo para os móveis vizinhos. Inicialmente o fogo se alastrou sob o efeito da ventilação da janela do quarto e após 18min, a porta do quarto que inicialmente se encontrava fechada, foi aberta no intuito de prolongar as chamas através da ventilação cruzada. Termopares foram distribuídos ao longo do cômodo a fim de aferição da temperatura em locais e alturas pré determinados, relacionadas à posições de interesse do autor, como alturas de pontos importantes numa possível vítima como cabeça, vias aéreas, peito e joelho.

A estratégia de colocação de termopares baseou-se nas diferentes posições em que vítimas poderiam estar dispostas no cenário escolhido, elegendo-se: deitada nas três camas disponíveis ou na posição em pé ao centro do dormitório. A altura deste termopar-aferições gasosas em específico, foi escolhida dentro da faixa de alturas médias de brasileiros (1,60 a 1,73 m), considerando, entretanto, não a altura máxima efetiva, e sim a posição das vias aéreas superiores (nariz).

Tabacznski (2018) construiu simulação numérica, com algumas calibrações, desse experimento, utilizando o *software Fire Dynamics Simulator*. A autora, ainda, dispôs o código-fonte usado em seu trabalho, o qual passou pelas modificações seguintes para a pesquisa ora apresentada, vislumbrando o alcance dos objetivos propostos por este trabalho, foram incluídos:

- Acréscimo de dispositivos de leitura de CO, CO₂ e O₂ imediatamente sobre cada uma das

três camas, configurando posições aproximadas de pessoas deitadas sobre elas.

- Acréscimo de dispositivos de leitura de temperatura imediatamente sobre cada uma das três camas, configurando posições aproximadas de pessoas deitadas sobre elas.
- Acréscimo de dispositivos de leitura de CO, CO₂ e O₂ e temperatura na altura de 1,60, no centro do cômodo, configurando a altura média de uma pessoa em pé no ambiente.

Destaca-se que a pesquisa ora apresentada, traz uma contribuição original e relevante, pois apesar de bem documentado o experimento (Corrêa *et al.*, 2017) e a simulação computacional (Tabaczinski *et al.*, 2018) em nenhum momento os estudos anteriores se detêm a questão da sobrevivência de pessoas nestes ambientes, tão típico de incêndios no Brasil.

Nesta simulação, são observados 04 cenários a partir dos dados já obtidos em ensaios em escala real e trabalho de parametrização computacional, a saber: Qual a sobrevivência de uma vítima no centro do quarto (Caso 1); Tempo estimado de sobrevivência de uma vítima sobre a cama (Caso 2); O tempo de sobrevivência de uma vítima sobre o leito em que o incêndio inicia (Caso 3); e a sobrevivência (tempo estimado) de uma vítima que está no leito superior do beliche (Caso 4).

Salienta-se também que as vítimas com dificuldades de locomoção (crianças pequenas, idosos, portadores de deficiência) e sob o uso de álcool e outras drogas são uma parcela significativa dos óbitos em incêndios (Santos, Corrêa e Krüger, 2024). A representação das respectivas posições das vítimas (Figura 2):

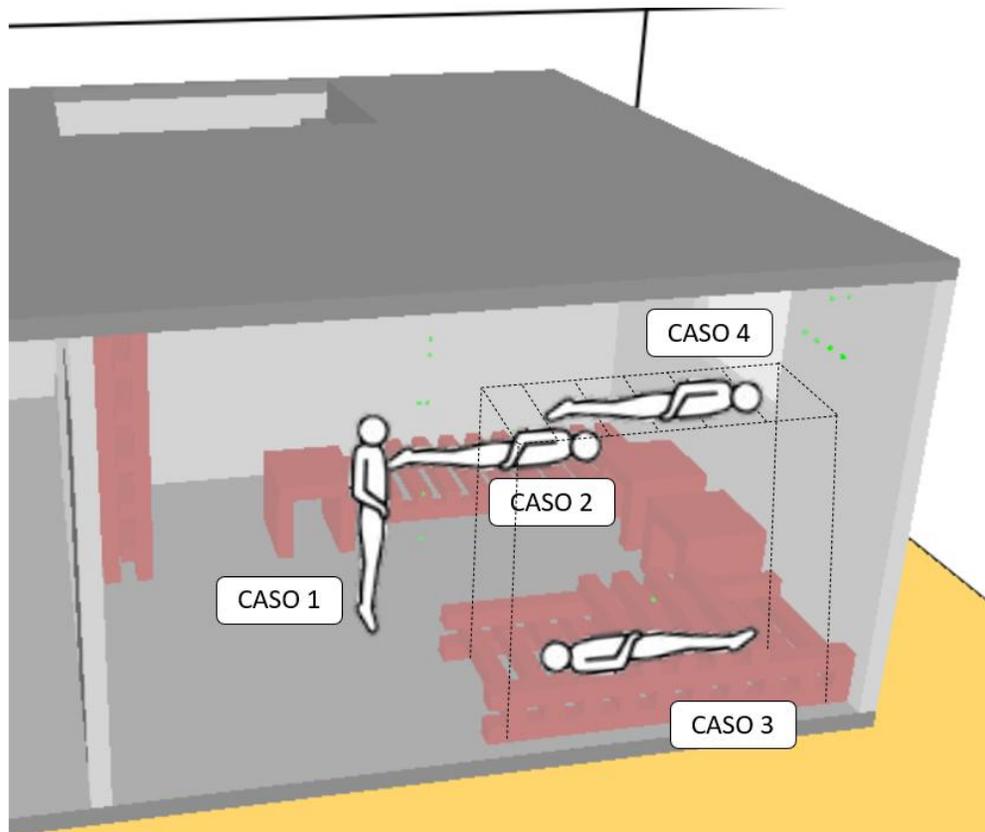


Figura 2. Esquema Ilustrativo das vítimas no cenário de incêndio.

Estima-se que esta pesquisa, arvora-se em uma perspectiva importante para a Investigação de Incêndios, ao referendar (através de dados na literatura) e aplicar o exercício de simulação computacional em incêndios, com fito a estabelecer a sobrevivência de pessoas com dificuldades ou impossibilidades de locomoção.

4. RESULTADOS

O ambiente de simulação computacional de fluidodinâmica para cenários de situação em incêndio foi desenvolvido no *Fire Dynamics Simulation*(FDS), versão 6.9.1, disponível pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST, 2022). A interface gráfica gerada foi construída através do *software* Smokeview (SMV), versão 6.9.1, proveniente do mesmo desenvolvedor.

O código tomado como base nesta pesquisa foi modificado a partir do código presente em Sá (2018), que **simulou o incêndio sem presença de vítimas**. Nessa exposição, fez-se considerações quanto a condições ambientais, propriedades térmicas e de combustão de materiais, gás combustível utilizado, dentre outras, permitindo valores mais próximos à escala real no uso do FDS. Segundo a mesma autora (Sá, 2018) seguiu-se uma modelagem computacional de um cenário real de incêndio, denominado “edificação modal”, conforme definição presente em Corrêa *et al.* (2015). Propondo então, modelagem computacional no FDS, como objetivo de “reproduzir da melhor forma possível o ensaio experimental realizado por Corrêa *et al.* (2017)” (Sá, 2018). A validação neste sentido foi, portanto, efetiva.

O código-fonte original, para geração do cenário considerado, foi obtido através de pesquisa realizada pela Sá (2018). Devido à diferença de versões existentes do *software* FDS, foi necessária a compatibilização de código, tornando-o apropriado para a atualidade.

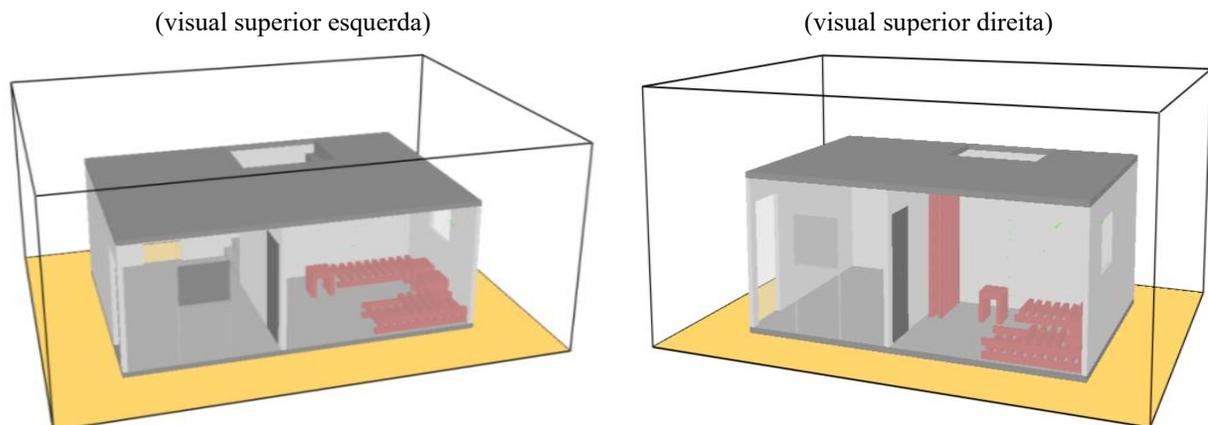
Para a execução dos cenários previamente definidos neste presente trabalho, foram também adicionados dispositivos de leitura dos dados de O₂, CO₂, CO e temperatura em pontos específicos, os quais serão discutidos a seguir.

Por fim, o novo código-fonte para FDS foi disponibilizado no Apêndice 2, bem como os *frames* principais da simulação estão no Apêndice 1.

4.1 O ambiente gráfico de simulação

O ambiente simulatório gerado pelo SMV está presente nas Figuras 3 e 4, conforme descrição realizada no tópico metodologia.

Salienta-se que, para fins de simplificação do modelo computacional, considerou-se o beliche como uma superposição de estrutura (cama superior imediatamente sobre a cama inferior), observando-se a carga-incêndio compatível.



Figuras 3 e 4. Cenário usado para simulação de incêndio
Fonte: Dados de Pesquisa, 2025.

4.2 Caso 01 – Vítima no centro do ambiente em 1,60 metro

Para uma vítima localizada no centro do ambiente em questão, considerando a altura das vias aéreas a partir do piso (1,60 m), foram obtidas, através dos dispositivos de leitura, concentração de gases e temperatura, sendo expostos ao longo do tempo, conforme Tabela 3 seguinte.

No primeiro minuto de simulação (Tabela 3), a vítima estando neste ambiente já perceberá a ação do calor, a qual causará os primeiros efeitos térmicos à sua pele, com queimaduras de 1º grau, bem como as primeiras dificuldades em relação à respiração. As concentrações de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e oxigênio (O₂) estarão aumentando, mas ainda estarão a níveis abaixo dos principais efeitos fisiológicos considerados na Tabela 1.

Importante destacar que os dados dos três gases aferidos na simulação do FDS, foram compatíveis (semelhantes), particularmente a 1,60m (vítima no centro do dormitório), com os verificados experimentalmente por Braga e autores (2021). No dito experimento com mobiliário nacional, e ambiente igualmente ventilado (porta um pouco aberta), dimensões semelhantes, os gases recolhidos e depois analisados em laboratório, mostram quantidades que guardam semelhanças com a simulação computacional.

Espera-se, para uma vítima nessa situação, que ela, pelo próprio instinto de sobrevivência, abaixe-se e busque a saída mais próxima, principalmente se ela for habituada à essa residência. Bens ou pessoas a proteger podem modificar esse comportamento, bem como tentativas de extinguir o incêndio na sua fase inicial, aumentando seu tempo no ambiente em sinistro.

Outros fatores a considerar são: a capacidade dessa vítima em locomover-se, ou, ainda, dificuldades acerca de travamento na porta de acesso. Neste caso, permanecendo a vítima mais tempo, em pé, já se observará dificuldades respiratórias, as quais poderão levá-la a confusão mental e tontura, por exemplo. Em 3 minutos o cenário será esse, permanecendo semelhante até os 5 minutos, com agravamentos fisiológicos em quase 9 minutos (Tabela 3).

Uma hipótese de comportamento para essa vítima, portanto, seria a busca consciente por áreas mais ventiladas do ambiente, ou, ainda, a possibilidade de desmaio, seguido por queda entre níveis, como sinalizado na Tabela 3, pela diminuição de oxigênio disponível.

Tabela 3. Vítima no centro do ambiente em 1,60 metro.

Parâmetros/ Gases	[CO ₂] (ppm)	[CO] (ppm)	[O ₂] % vol	Temperatura °C
T _{simulação} 1min	5.898	21	19,6	72,5
Efeitos	-	-	-	Queimadura de 1º grau, edemas das vias aéreas superiores, podendo gerar obstrução respiratória.
T _{simulação} 3min	53.889	203	13,7	212,7
Efeitos	Dificuldade respiratória alta; tontura; confusão mental; dor de cabeça; sensação de falta de ar.	-	Capacidade de julgamento reduzida; coordenação motora prejudicada; fadiga anormal após esforço; perturbação emocional.	Condições fatais quase imediatas.

T _{simulação} 5min	64.381	243	12,4	241,7
Efeitos	Dificuldade respiratória alta; tontura; confusão mental; dor de cabeça; sensação de falta de ar.	-	Capacidade de julgamento reduzida; coordenação motora prejudicada; fadiga anormal após esforço; perturbação emocional.	Condições fatais quase imediatas.
Fim da simulação (525s ou 8min45s)	71.431	269	11,5	266,9
Efeitos	Dificuldade respiratória alta; tontura; confusão mental; dor de cabeça; sensação de falta de ar.	-	Capacidade de julgamento e coordenação muito prejudicadas; respiração prejudicada, podendo causar danos cardíacos permanentes; possibilidade de desmaio em poucos minutos; náuseas e vômitos.	Condições fatais quase imediatas.

Fonte: Resultados da pesquisa, 2025.

Evidencia-se, próximo aos 9 minutos, em altura próxima a 30 cm do chão, observaram-se temperaturas acima de 150°C, as quais continuarão a agravar as queimaduras para o 3º grau, favorecendo, dentre outros efeitos, a perda de consciência e imobilidade (Tabela 1).

4.3 Caso 02 – Vítima deitada na cama de solteiro

Para uma vítima localizada na cama de solteiro, isolada, e mais distante do foco inicial, no primeiro minuto não haverá efeitos fisiológicos tão graves (cf. Tabela 4). Para pessoas com sensibilidade mais reduzida, adormecidas, poderão até não perceber o sinistro até então.

Tabela 4. Vítima deitada na cama de solteiro.

Parâmetros/ Gases	[CO ₂] (ppm)	[CO] (ppm)	[O ₂] % vol	Temperatura °C
T _{simulação} 1 min	1.974	6	20,1	42,0
Efeitos	-	-	-	Desconforto inicial, com aquecimento de vias aéreas superiores.
T _{simulação} 3 min	30.596	115	16,5	124,8
Efeitos	Dificuldade respiratória moderada; aumento de frequência cardíaca; aumento de pressão arterial.	-	Pensamento e atenção prejudicados; aumento de frequência cardíaca e respiratória; Coordenação reduzida; capacidade de trabalho reduzida; desempenho físico e intelectual reduzidos.	Queimaduras de 2º grau ocorrem em poucos segundos; desidratação e hipertemia.

T _{simulação} 5 min	36.413	137	15,8	130,5
Efeitos	Dificuldade respiratória moderada; aumento de frequência cardíaca; aumento de pressão arterial.	-	Pensamento e atenção prejudicados; aumento de frequência cardíaca e respiratória; Coordenação reduzida; capacidade de trabalho reduzida; desempenho físico e intelectual reduzidos.	Queimaduras de 2º grau ocorrem em poucos segundos; desidratação e hipertemia.
Fim da simulação (525 s ou 8min45s)	48.108	181	14,4	181,6
Efeitos	Dificuldade respiratória moderada; aumento de frequência cardíaca; aumento de pressão arterial.	-	Capacidade de julgamento reduzida; coordenação motora prejudicada; fadiga anormal após esforço; perturbação emocional.	Queimaduras de 3º grau; danos pulmonares irreversíveis; perda de consciência em segundos.

Fonte: Resultados da pesquisa, 2025.

Ainda na Tabela 4, percebe-se o aumento da concentração de dióxido e monóxido de carbono, com redução do oxigênio disponível, como esperado de uma combustão, contribuindo para um desconforto maior dessa vítima. Esta, aos 5 minutos, estará vulnerável a queimaduras de 2º grau. Considerando um adulto saudável nessa posição, espera-se um comportamento semelhante ao Caso 1, no mesmo tempo considerado, quando a vítima entende que está envolta em ambiente de incêndio e procurará saída, abaixada, afastando-se de temperaturas mais altas. Entretanto, é importante destacar que uma vítima que estava adormecida, mesmo saudável, poderá naturalmente ter dificuldades de discernimento inicial acerca do que está sendo processado e como deverá agir para sobreviver. Seja isto por causa da diminuição de oxigênio enquanto ainda dorme, que reduzirá a atenção e tirocínio (Tabela 4); ou por outros fatores, como a presença da fumaça que reduzirá a visibilidade do ambiente; a distância da porta de acesso; dentre outros. Permanecendo a vítima em cima da cama, o que pode acontecer de acordo com os supracitados motivos, ou, ainda, por ela ter alguma restrição, que a impeça de sair do cômodo, aos 8 minutos e 45 segundos terá sua consciência comprometida, ficando vulnerável a queimaduras de 3º grau. (Tabela 4).

Caso nada seja feito, esta vítima perderá sua vida mais rapidamente que no primeiro caso (vítima inconsciente, em aproximadamente 9 minutos), ocorrendo sua morte nos primeiros minutos. Os efeitos térmicos e os relacionados à concentração de gases são mais severos, do que os vistos em vítimas próximas ao chão.

4.4 Caso 03 – Vítima deitada no beliche (cama inferior)

A vítima situada no caso 3 é a mais próxima do foco inicial do incêndio. Considerando isto, ela sofrerá os danos do incêndio de maneira mais intensa já nos primeiros segundos, conforme Tabela 5 seguinte.

Tabela 5. Vítima deitada no beliche (cama inferior).

Parâmetros/ Gases	[CO ₂] (ppm)	[CO] (ppm)	[O ₂] % vol	Temperatura °C
T _{simulação} 1 min	21.959	82	17,5	272,2
Efeitos	Dificuldade respiratória leve.	-	Pensamento e atenção prejudicados; aumento de frequência cardíaca e respiratória; Coordenação reduzida; capacidade de trabalho reduzida; desempenho físico e intelectual reduzidos.	Condições fatais quase imediatas.
T _{simulação} 3 min	44.045	166	14,7	299,1
Efeitos	Dificuldade respiratória moderada; aumento de frequência cardíaca; aumento de pressão arterial.	-	Capacidade de julgamento reduzida; coordenação motora prejudicada; fadiga anormal após esforço; perturbação emocional.	Condições fatais quase imediatas.
T _{simulação} 5 min	55.637	209	13,2	365,5
Efeitos	Dificuldade respiratória alta; tontura; confusão mental; dor de cabeça; sensação de falta de ar.	-	Capacidade de julgamento reduzida; coordenação motora prejudicada; fadiga anormal após esforço; perturbação emocional.	Condições fatais quase imediatas.
Fim da simulação (525 s ou 8min45s)	78.696	297	10,3	639,1
Efeitos	Dificuldade respiratória alta; tontura; confusão mental; dor de cabeça; sensação de falta de ar.	-	Capacidade de julgamento e coordenação muito prejudicadas; respiração prejudicada, podendo causar danos cardíacos permanentes; possibilidade de desmaio em poucos minutos; náuseas e vômitos.	Condições fatais quase imediatas.

Fonte: Resultados da pesquisa, 2025.

O efeito térmico provavelmente será o primeiro fator que a alertará acerca da presença de chamas, visto que rapidamente se alcançam temperaturas que são propícias para queimaduras de 3º grau e fatais. A dificuldade respiratória já se observa nesse momento, sendo agravada rapidamente até os 5 minutos (Tabela 5).

Um adulto saudável poderá ter, como hipótese possível, o mesmo procedimento observado nos casos anteriores: busca evadir-se rapidamente, visto que essa condição será alcançada nos primeiros 3 minutos.

Por outro lado, a severidade observada na Tabela 5 leva a possibilidade de maiores danos humanos em um curto intervalo de tempo. A vítima do Caso 2, por exemplo, terá mais tempo disponível para discernir suas ações. Já a vítima deste caso, apesar de se esperar um alerta mais rápido, terá que agir de maneira mais objetiva, prática e precisa, isto é, em poucos segundos do início, visto que temperaturas que propiciam queimaduras mais profundas são alcançadas no primeiro minuto (cf. Tabela 5).

Não se espera sobrevivência para uma vítima nesta posição, aos quase 9 minutos de incêndio, visto que a inconsciência e temperaturas fatais são imediatamente atingidas (Tabela 5). Isto poderá acontecer nos casos envolvendo vítimas com mobilidade e consciência reduzidas.

4.5 Caso 04 – Vítima deitada no beliche (cama superior)

A vítima situada na cama superior do beliche terá inicialmente um efeito combinado de redução de oxigênio e aumento de temperatura (Tabela 6). É a vítima que mais se aproxima, dentre os quatro casos, da situação de consequências relacionadas à dano respiratório acontecendo primordialmente em detrimento do dano térmico. Isto porque aos 3 minutos tem-se a menor redução de oxigênio observada o que possibilitará a inconsciência enquanto dorme (Tabela 6). Neste ponto, vale lembrar que no ambiente de simulação (cama superior) foi projetado imediatamente sobre a cama inferior. Em condições reais, a estrutura da cama superior iria favorecer o bloqueio da radiação térmica vindo de baixo, tendo a formação da camada de fumaça logo acima no teto, a qual estaria se aproximando cada vez mais da vítima. Esse cenário real favoreceria uma percepção mais reduzida da temperatura das chamas, contribuindo para o envolvimento da vítima pela nuvem de fumaça.

Na Tabela 6, observa-se que os danos térmicos são pouco relevantes quando comparados aos danos respiratórios.

Na mesma Tabela 6, tem-se o fim da simulação para o Caso 4, em que se tem a menor redução de oxigênio encontrada em todos os casos, com as maiores concentrações de dióxido e monóxido de carbono. A temperatura também é elevada, com efeitos fisiológicos agressivos, porém com leve redução em relação àqueles da posição do Caso 3. Pode-se esperar para essa situação, dentre os casos, o agravamento da situação de uma vítima que não acordou por intoxicação respiratória, permanecendo em meio ao desenvolvimento do incêndio, indo-se ao óbito em poucos minutos.

Tabela 6. Vítima deitada no beliche (cama superior).

Parâmetros/ Gases	[CO ₂] (ppm)	[CO] (ppm)	[O ₂] % vol	Temperatura °C
T _{simulação} 1 min	7.873	28	19,3	99,7
Efeitos	-	-	Pensamento e atenção prejudicados; aumento de frequência cardíaca e respiratória; Coordenação reduzida; capacidade de trabalho reduzida; desempenho físico e intelectual reduzidos.	Queimadura de 1º grau, edemas das vias aéreas superiores, podendo gerar obstrução respiratória.
T _{simulação} 3 min	55.198	208	13,5	208,5
Efeitos	Dificuldade respiratória alta; tontura; confusão mental; dor de cabeça; sensação de falta de ar.	-	Capacidade de julgamento reduzida; coordenação motora prejudicada; fadiga anormal após esforço; perturbação emocional.	Condições fatais quase imediatas.
T _{simulação} 5 min	70.838	267	11,6	238,1

Efeitos	Dificuldade respiratória alta; tontura; confusão mental; dor de cabeça; sensação de falta de ar.	-	Capacidade de julgamento e coordenação muito prejudicadas; respiração prejudicada, podendo causar danos cardíacos permanentes; possibilidade de desmaio em poucos minutos; náuseas e vômitos.	Condições fatais quase imediatas.
Fim da simulação (525 s ou 8min45s)	82.042	310	10,1	273,9
Efeitos	Visão turva; suor; tremor; inconsciência, possível morte.	-	Capacidade de julgamento e coordenação muito prejudicadas; respiração prejudicada, podendo causar danos cardíacos permanentes; possibilidade de desmaio em poucos minutos; náuseas e vômitos.	Condições fatais quase imediatas.

Fonte: Resultados da pesquisa, 2025.

Os resultados de simulação deste artigo com os resultados de Sá (2018) foram os mesmos no tocante aos perfis de temperatura, de maneira global. Igualmente ao cenário utilizado, contudo a diferença substancial reside nos pontos de interesse de temperatura e de concentração de gases, considerando vítimas em posições diferentes do cômodo. Viabilizando uma discussão, ainda não proposta, sobre a sobrevivência de pessoas em um cômodo (dormitório de uma residência) grandemente atingido por incêndios na RMR, no Brasil e no mundo.

5. CONCLUSÕES

O artigo analisou uma simulação computacional de incêndio em edificação residencial, típico da cidade de Recife e que produz a maior quantidade de mortos e feridos, não apenas naquela cidade, mais em uma série de localidades no Brasil e no mundo, como visto em vários trabalhos usados no referencial.

Foram adotadas 04 posições para possíveis vítimas com dificuldade ou incapacidade de locomoção, conforme segue:

- Vítima no Centro do Quarto – Aos 180 segundos (3 min) a combinação de temperaturas que chegaram a 212°C e a taxa de Dióxido de Carbono em 53.899 ppm., seria incompatível com a vida após poucos segundos;
- Vítima na Cama de Solteiro – Aos 525 segundos, mesmo estando do lado oposto ao ponto de início do incêndio, reunia temperatura de 181,6°C, Dióxido e Monóxido de carbono acima de, respectivamente, 48.000 e 181ppm. e Oxigênio correspondente a 14,4%, condição improvável para a vida humana;
- Vítima no leito Inferior do Beliche – sendo o local de início das chamas, em 60 segundos já ardia a 272,2°C, aos 180s a temperatura chegava a 299°C e combinada com taxas de Dióxido de Carbono de 44.045ppm, se pode propor a não sobrevivência de seres humanos;
- Vítima no leito superior do Beliche – Taxas de Oxigênio de 13,5% ainda seriam suportáveis, contudo 44.045ppm de Dióxido de Carbono e temperaturas acima de 208°C tornariam o local

letal, após 180 segundos, do início das chamas.

Estima-se que limitações do programa (mensuração de outros gases e fluxo térmico recebido), e a necessidade de simular outras configurações (carga-incêndio, geometria, cômodo etc.) de incêndios em edificações residenciais, são espaços de melhoria e aprofundamento para outros estudos.

Tendo a pesquisa bibliográfica revelado a significância dos incêndios em residência dentre o total de ocorrências de incêndio e que estes concentram a maioria dos óbitos decorrentes de incêndio, destaca-se a relevância do presente estudo por tratar de tema pouco discutido: a sobrevivência das pessoas no interior das edificações residenciais em chamas. Os resultados trazem um importante alerta visto que apontam pouco tempo de sobrevivência. A partir dos dados aferidos, pessoas com limitações de movimento (idosos, deficientes, crianças, bebês etc.) ou desorientados (hipóxia, intoxicação exógena, opacidade no ambiente etc.) teriam duas vidas ceifadas com menos de 9 minutos, tempo incompatível (em grande parte dos casos) com a identificação do incêndio, acionamento do serviço de Bombeiros, seu deslocamento e ação efetiva de salvamento-combate a incêndio. Há que ser levado em conta ainda que as residências unifamiliares (no Brasil) não possuem qualquer previsão de sistema de alarme, prevenção ou proteção contra incêndio.

O estudo apresentado aponta ainda para a relevância da análise de dados de um incêndio correlacionando as variáveis entre baixos níveis de oxigênio, altos níveis de monóxido de carbônico e elevadas temperaturas como fatores preponderantes em todas as fases do incêndio para lesões e mortes, comparando diferentes posições das vítimas, algo pouco estudado, no Brasil e América Latina.

O resultado do estudo busca discutir a consciência na necessidade da segurança contra incêndio em estruturas residenciais que, ora, não são abarcados pela legislação vigente, mas que são, na sua grande maioria, onde se iniciam os incêndios estruturais demonstrados nos dados estatísticos brasileiros disponíveis. Portanto, o estudo propõe tacitamente que a legislação brasileira adequue o grau de risco dessas estruturas, aos códigos de construção e de segurança contra incêndio, incentivando o debate sobre a possibilidade de instalação de detectores de fumaça e/ou alarmes e ainda exaustores, nos cômodos das residências unifamiliares, entre outras medidas tangíveis, buscando mitigar tais mortes. Estas medidas serão alicerce para novos estudos comprobatórios (ou não) da redução dos óbitos nesses ambientes.

Salienta-se que a ‘calibragem’ do ponto de vista do desenvolvimento do incêndio, perfis de temperatura e outras variáveis, foram registrados em um experimento em escala real (Corrêa *et al.*, 2017) e posteriormente em uma simulação em FDS, apresentando resultados compatíveis entre si (Sá, 2018) e conseqüentemente creditando os dados aqui apresentados.

6.REFERÊNCIAS

Alves, A.B.C.G., Campos, A.T., Braga, G.C.B. (2013). “*Simulação Computacional de Incêndio Aplicada ao Projeto de Arquitetura*”. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU’2013 – Espaço Sustentável: Inovações em Edifícios e Cidades São Paulo/SP (Brasil).

Bispo, R., Marques, F.J., Penha, A. *et al.* (2023). *Uma década de incêndios urbanos: acontecimentos portugueses entre 2013 e 2022*. *Sci Data* 10, 569. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02476-6>

Braga, G.C.B. (2022). *Organização dos Corpos de Bombeiros Militares do Brasil e sua importância para o desenvolvimento das Pesquisas em Prevenção, Combate e Investigação de Incêndios: A Experiência do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF)*. Revista FLAMMAE, 8(24): 09-37. Disponível em: https://www.revistaflammae.com/files/ugd/08765e_c5f3a02e858a4b219c34276f4f3651f8.pdf

- Braga, G.C.B., Corrêa, C., Matos, B., Cavalcanti, J. V. F. L., Lisboa Neto, J.P. (2021). *Incêndios em Ambiente com Materiais Brasileiros e Estrangeiros: Um Estudo Comparativo*. Revista FLAMMAE, 7(20): 07-29. DOI:<http://dx.doi.org/10.17648/2359-4837/flammae.v7n20.p7-29>
- Braga, G.C.B., Landim, H.R.O. (2008). “*Investigação de incêndios*”. In: A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, pp. 333-45.
- Brunetto, L. O. (2015). “*Simulação computacional de incêndios: uma aplicação no prédio da escola de engenharia nova da UFRGS*”. Monografia Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), p.105. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/148710>
- Carlos, T. B., Mariani, L. M., Moraes, H. H. Q.(2016). *Avaliação do desempenho de sistemas de controle de fumaça por modelagem numérica*. Ignis: Revista Técnico Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis (Brasil), Edição Especial: Anais do XVI SENABOM, 1(2): 3-16. Disponível em: <https://ignis.emnuvens.com.br/revistaignis/article/view/17/18>
- Carnieletto, E C., Castro, M. G., Araújo, R. L. (2019). *Análise da importância de medidas de Segurança Contra Incêndio em Residências Unifamiliares*. Revista FLAMMAE, 5(12):77-103. DOI:<http://dx.doi.org/10.17648/2359-4837/flammae.v5n12.p77-103>
- Carvalho, J. E. C.(2013). “*Aplicação de fluidodinâmica computacional para análise de segurança de túneis rodoviários sob incêndio*”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), p.73. Disponível em: https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_6babd31a7238cbcccc745488fb0ff2a9
- Corrêa, C. (2024a). *Fires In Brazil: Mapping And Lethality*. Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, 20. DOI: <https://doi.org/10.14393/Hygeia2068688>
- Corrêa, C. (2024b). *Incêndios no Brasil: mapeamento e letalidade*. Revista GESEC, 15(11): e4402. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i11.4402>
- Corrêa, C., Rêgo Silva, J. J., Pires, T. A., Braga, G. C. (2015). *Mapeamento de Incêndios em Edificações: Um estudo de caso na cidade do Recife*. Rev. Eng. Civil IMED, 2(3): 15-34. DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508/rec-imed.v2n3p15-34>
- Corrêa, C., Rêgo Silva, J. J., Pires, T.A., Braga, G.C.B.,Vieira de Melo, I.A. (2018). *Edifício Modal: Uma representação para o Estudo de Incêndios na cidade de Recife*. Revista Cientec, 8(2):37-46. Disponível em: <https://revistas.ifpe.edu.br/cientec/article/view/181>
- Corrêa, C., Duarte, D.C., Braga, G.C.B (2018). *Fragilidade das estatísticas de incêndios estruturais no Brasil*. Revista Brasileira de Saúde e Segurança no Trabalho, 1(1):44-49.DOI: <https://doi.org/10.37885/210504786>
- Corrêa, C., Braga, G.C.B, Bezerra Junior, J., Silva, J.J., Tabaczinski, R., Pires, T. A. (2017). *Incêndio em compartimento de residência na Cidade do Recife: Um estudo experimental*. Revista ALCONPAT, 7(3): 215-230. DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v7i3.221n>
- Corrêa, C. (2017). *Mapeamento dos incêndios em edificações: o Edifício Modal e suas aplicações, com foco na cidade de Recife*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), p.134. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/29575/4/TESE%20Cristiano%20Corr%e3%aaa.pdf>
- Costa, L. M., Pires, T. A.C., Rêgo Silva, J. J. (2023). *Shear strengthening of fire-damaged reinforced concrete beams using NSM CFRP laminates*. Engineering Structures, 287: 116175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116175>
- Cunha, L. J. B. F. (2016). “*O desempenho da compartimentação horizontal seletiva na promoção da segurança contra incêndio em edificações*”. Tese de Doutorado Arquit.e Urb. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), p.237. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/items/846203ff-cd4c-4178-8231-752b786708e0>

- Cunha, I.O.P., Lugon, A.P., Bona, B.M. (2018). *Investigação experimental e modelagem da dispersão utilizando Fire Dynamics Simulator (FDS) para um vazamento acidental de GLP*. Revista FLAMMAE, 4(11):171-188. DOI: <http://dx.doi.org/10.17648/2359-4837/flammae.v4n11.p171-188>
- Dornelas, P., Corrêa, C. (2025). Dimensionamento da Carga de Incêndio em Edificações Residenciais. *Revista Multitemas*, 30(75) em edição.
- Falcão, G. M. (2024). *Perfil de Ocorrências de Incêndio em Edificações atendidas pelo CBMMG de 2018 a 2023*. Revista FLAMMAE, 10(30):01-43. Disponível em: https://www.revistaflammae.com/files/ugd/08765e_abe2b855cffd4a248a6d89344d4a73ac.pdf
- Fontenelle, F. M. A. (2012). *Análise Térmica em Estruturas de Tanques de Armazenamento de Etanol em Situação de Incêndio*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), p.112.
- Hahnemann, A. L. C., Corrêa, C., Rabbani, E. R. K. (2017). *Evaluación de seguridad contra incendio: método alternativo aplicado a edificaciones brasileña*. Revista ALCONPAT, 7(2):186-199. DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.178>
- Hennemann, G. G., Gil, A. M., Bolina, F. L., Rodrigues, E. E., Tutikian, B. F., Braga, G.C. (2018). *Modelling the influence of crowd control railings on the Kiss nightclub evacuation*. FireResearch, 2(1). DOI: <https://doi.org/10.4081/fire.2018.49>
- Láim, L., Rodrigues, J.P.C., da Silva, L.S. (2014). *Experimental analysis on cold-formed steel beams subjected to fire*. Thin-WalledStructures, 74:104-117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2013.09.006>
- Mariani, L. M., Carlos, T. B. (2017). *Estudo de evacuação em edificação em Brasília com o uso do FDS-EVAC*. Ignis: Revista Técnico Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis (Brasil), Edição Especial: Anais do XVI SENABOM, v.1(2):120-134. Disponível em: <https://ignis.emnuvens.com.br/revistaignis/article/view/30/40>
- Matos, L. V.(2017). “*Estudo numérico do escoamento de gases por uma abertura durante um incêndio em ambiente conjugado*”. Monografia Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), p.125. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/177155>
- Mazzoni, F., Klein, D. L.(2015). “*Análise da Propagação de Incêndio em Prédios Altos através da Simulação Computacional*”. In: 3º CILASCI, Congresso Ibero-Latino-Americano sobre Segurança Contra Incêndios, Porto Alegre/RS (Brasil).
- McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., Overholt, K.(2019). “*Fire Dynamics Simulator – User’s Guide: 9a Edition*. NIST” – Special Publication 1019: National Institute of Standards and Technology – NIST & Technical Research Centre of Finland – VTT, Maryland (EUA).
- Menezes, R.R.F, Corrêa, C. (2022), ‘*Entre mortos e feridos*’: mapeamento, caracterização e análise dos incêndios com vítimas na região metropolitana do Recife. OPEN SCIENCE RESEARCH VI, v. 6(1): 1493-1508, 2022. DOI: <https://doi.org/10.37885/220910029>
- Pignatta e Silva, V., Rodrigues, F. C., Fakury, R. H., Pannoni, F. D. (2007). *Incêndio real em um apartamento de interesse social-um estudo de caso*. Rem: Revista Escola de Minas, 60(2):315-324. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672007000200014>
- Rodrigues, E.E.C., Rodrigues, J.P.C., Silva Filho, L.C.P. (2017). *Comparative study of building fire safety regulations in different Brazilian states*. Journal of Building Engineering, v.10 :102-108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.03.001>
- Rodrigues, E. E. C. (2016). “*A Sistema de Gestão da Segurança Contra Incêndio e Pânico nas edificações: fundamentação para uma regulamentação nacional*”. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), p.178. Disponível em: www.lume.ufrgs.br/handle/10183/142695
- Rodrigues, E. E. C. (2009). “*Análise da eficiência dos sistemas de compartimentação vertical*

- externa por afastamento entre janelas e por projeções horizontais segundo as exigências normativas brasileiras”. Dissertação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), p.178. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/19045>
- Ruschel, F. (2011). “Avaliação da utilização de ferramentas de simulação computacional para reconstituição de incêndios em edificações de concreto armado: aplicação ao caso Shopping Total em Porto Alegre – RS”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), p.131. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/29047>
- Sá, R.T.(2018). “Simulação numérica de incêndios em edificações”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, p.218. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29684>
- Santos, J. (2024). “Incêndios com Mortos e Feridos em Belo Horizonte: Caracterização e Análise”. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Engenharia de Incêndio, Universidade Federal de Pernambuco, p.124.
- Santos, J., Corrêa, C., Krüger, P.G. (2024). *Incêndios com Mortos e Feridos em Belo Horizonte: Caracterização e análise*. Revista FLAMMAE (em edição), 2025.
- Santos, M.P. (2016). *Uso de detectores para a redução de Mortes ocasionadas por Incêndios em Residências Unifamiliares*. Revista FLAMMAE, 2(3):262-264. DOI: <http://dx.doi.org/10.21628/2359-4837/flammae.v2n3p262-264>
- Silva Filho, L. C. P., Ruschel F., Dolvitsch J., Lima, R. C. A., Braga, G.B. (2011). *Utilização de Métodos Computacionais na Reconstituição de Incêndios: Aplicação ao caso do Shopping Total*. Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural, 8(3):52-64. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/rsae/article/view/2609>
- Vasconcelos, G. M. A., Pires, T.A.C., Rêgo Silva, J.J. (2023). Structural and fire performance of masonry walls with ceramic bricks. *Engineering Structures*, v. 291, p. 116399. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116399>
- Xiong, Y., Zhang, C., Qi, H., Liu, X. (2022). *Characteristics and Situation of Fire in China From 1999 to 2019: A Statistical Investigation*. *Front. Environ. Sci.* 10:945171., 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.945171>
- Tabaczynski, R., Corrêa, C., Santos, M. M., Pires, T. A., Silva, J. J. R. (2017). *Aplicação do software fire dynamics simulator (FDS) no estudo da segurança contra incêndios (SCI) no Brasil*. Revista FLAMMAE, 3(7):87-116. DOI: <http://dx.doi.org/10.17648/2359-4837/flammae.v3n7.p87-116>