

Dimensionamento da carga de incêndio em edificações residenciais

Sizing fire load in residential buildings

Dimensionamiento de la carga de fuego en edificios residenciales

Pedro Dornelas¹

Cristiano Corrêa²

¹ Bacharel em Engenharia de Minas e especialista em Engenharia de Incêndio pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). **E-mail:** pedrojdornelas@hotmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1577-4212>

² Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Pesquisador e mestre em Gestão do Desenvolvimento Local Sustentável pela Faculdade de Ciências da Administração da UFPE. Pesquisador do Núcleo de Pesquisas em Economia do Setor Público (NUPESP) da UFPE, no Grupo de Pesquisa em Engenharia de Incêndio (RISCTEC) da UFPE e no Grupo de Pesquisa em Tecnologia e Ciência do Incêndio (IGNIS) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). **E-mail:** cristianocorreacbmpe@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4653-5337>

Resumo: Compreender a Carga de Incêndio (CI) nos espaços das edificações é essencial para estudar a segurança contra incêndios, pois isso influencia diretamente nas temperaturas, que podem impactar as estruturas e comprometer a segurança das pessoas. Este estudo descreve/aplica um método para avaliar as CIs em residências com o uso do conceito de edifício modal, na cidade do Recife (PE), observando as informações dos itens combustíveis que compõem a residência para estimar a CI. Também é apresentado o levantamento da carga de incêndio específica para uma moradia popular, visando compatibilizar os dados com unidades habitacionais de grande frequência na região. A CI específica encontrada para esta unidade habitacional popular, com área média de 45m^2 , foi de $383,15\text{MJ/m}^2$, enquanto para o edifício modal, com área de $97,07\text{m}^2$, foi $219,29\text{MJ/m}^2$. Os resultados demonstraram que as unidades habitacionais populares possuem valores superiores ao que é estabelecido em normas brasileiras (300MJ/m^2) e estão mais propícias às adversidades geradas por incêndios.

Palavras-chave: incêndio; carga de incêndio; incêndio em edificações; segurança contra incêndio.

Abstract: Understanding the Fire Load-FL in building spaces is essential for studying fire safety, as this directly influences the temperatures that can impact structures. This study describes a method to evaluate FLs in residences using the modal building concept in the urban area of Recife. In which it uses information on the combustible items that make up the residence to carry out the appropriate FL surveys. A survey of the specific FL for a public housing residence from the Minha Casa, Minha Vida (MCMV) is also presented, to classify the data for a more typical housing for the region under study. The specific FL found for this popular housing unit, with an average area of 45m^2 , was 383.15MJ/m^2 , while for the modal building, with an area of 97.07m^2 , it was 219.29MJ/m^2 . The results demonstrated that MCMV housing units have values higher than what is established in Brazilian standards (300MJ/m^2) and are more prone to the adversities generated by the specific FL.

Keywords: fire; fire load; fire in buildings; fire safety.

Resumen: Comprender la Carga de Fuego (CI) en los espacios de la edificación es fundamental para estudiar la seguridad contra incendios, ya que influye directamente en las temperaturas que pueden impactar las estructuras y comprometer la seguridad de las personas. Este estudio describe/aplica un método para evaluar los circuitos integrados en residencias utilizando el concepto de construcción modal en la ciudad de Recife. Observar la información de los elementos combustibles que componen la residencia para estimar el IC. También se presenta un estudio de la carga de incendio específica para una unidad de vivienda popular, con el objetivo de compatibilizar los datos con las unidades de vivienda de alta frecuencia en la región. El CI específico encontrado para esta vivienda popular, con una superficie promedio de 45m^2 , fue de $383,15\text{MJ/m}^2$, mientras que para el edificio modal, con una superficie de $97,07\text{m}^2$, fue de $219,29\text{MJ/m}^2$. Los resultados demostraron que las viviendas populares tienen valores superiores a lo establecido en los estándares brasileños (300MJ/m^2) y son más propensas a las adversidades generadas por los incendios.

Palabras clave: fuego; carga de fuego; incendio en edificios; seguridad contra incendios.

1 INTRODUÇÃO

O lar é um lugar de refúgio, um espaço onde famílias buscam segurança e conforto. No entanto, o perigo muitas vezes se encontra nos locais mais inesperados, na forma de incêndios que podem devastar residências e vidas. Os incêndios em residências representam uma ameaça significativa em todo o mundo, causando perdas humanas e materiais impressionantes a cada ano (Corrêa, et al, 2017).

O risco de incêndio é uma preocupação constante em ambientes comerciais, industriais e residenciais. Esta ameaça significativa à vida e à propriedade torna essencial a adoção de normas e regulamentações rigorosas para mitigar esse risco. Um aspecto crucial nesse contexto é a determinação da Carga de Incêndio (CI), um parâmetro fundamental para o dimensionamento de sistemas de proteção contra incêndio e a elaboração de planos de evacuação eficazes, já que representa a quantidade de energia liberada por todo o material combustível em caso de incêndio (Camico; Costa; Buzar, 2023).

Com isso, o estudo comparativo das normas brasileiras sobre carga de incêndio com o cálculo específico para residências assume um papel importante na busca por ambientes mais seguros. Compreender as nuances das normas que regem a carga de incêndio em residências no Brasil é vital para profissionais da área, reguladores, gestores de risco e até mesmo para o público em geral (Mata, 2019). Essas normas desempenham um papel fundamental na definição de parâmetros para a concepção, a construção e a manutenção de edificações residenciais seguras.

O cálculo da carga de incêndio deve respeitar padrões e elementos estabelecidos pelas próprias normas. Seguindo o modelo e identificando o poder calorífico de cada objeto, é possível obter a carga total em cada cômodo, espaço ou, no caso específico, residência. Dessa forma, pode-se obter resultados confiáveis, visando uma compreensão mais eficaz do comportamento do incêndio em uma edificação.

No caso em específico, usou-se para a obtenção dos valores de carga de incêndio em residências unifamiliares o modelo de uma residência modal proposta em pesquisa recente. Também foi analisada a residência popular,

através do estudo de uma unidade habitacional do programa de habitação federal do Brasil, o Minha Casa, Minha Vida, que representa uma quantidade significativa de residências multifamiliares no país.

Este trabalho buscou analisar a problemática dos incêndios em residências, investigando a carga de incêndio envolvida e as consequências da energia liberada, auxiliando em quais medidas preventivas e estratégias de resposta podem vir a ser aplicadas. Ao longo do estudo, explorou-se estatísticas importantes, estudos de casos específicos e as melhores práticas em prevenção e segurança contra incêndios domiciliares.

Também foram detalhadamente exploradas as normas brasileiras relacionadas à CI em residências, bem como os métodos de cálculo associados. Ao fazer isso, visou-se proporcionar uma compreensão abrangente dessas normas, suas implicações práticas e, quando necessário, identificar lacunas ou áreas de melhoria. Adicionalmente, foi investigado como essas normas se comparam entre si e como os resultados obtidos a partir dos cálculos de carga de incêndio podem variar de acordo com a abordagem adotada.

A pesquisa teve como propósito não apenas aumentar a compreensão sobre essa questão crítica, mas também fornecer ideias práticas que vão alimentar soluções eficazes para proteger as vidas e os lares das pessoas. Através da análise comparativa de normas vigentes, este estudo pretende contribuir para o aprimoramento da segurança contra incêndios em residências no Brasil, oferecendo informações para profissionais do setor, legisladores e todos aqueles que buscam proteger vidas e propriedades. Ao final, espera-se ter lançado luz sobre questões críticas relacionadas à CI em residências, fornecendo uma base para discussões e aprimoramentos futuros nesse campo vital da segurança pública.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os incêndios têm impactos significativos na sociedade, acarretando perdas nos âmbitos social, econômico e humano. Portanto, é imperativo que analisemos continuamente os incidentes de incêndio em estruturas e aprimoremos as medidas de prevenção e controle. A ciência da prevenção de incêndios tem evoluído ao longo do tempo, exigindo constantes revisões nas

leis e regulamentos para que esses se adequem às diversas circunstâncias que surgem em cada nova ocorrência (Carnieletto; Castro; Araújo, 2019).

O incêndio é definido como a ação destrutiva do fogo. Desde o momento em que o ser humano aprendeu a produzir e controlar o fogo, ele o tem usado para desempenhar diversas funções vitais que impulsionaram o progresso e a tecnologia. Contudo, à medida que a tecnologia avançou, também houve um aumento progressivo no número de incêndios (Carnieletto; Castro; Araújo, 2019).

Desses inúmeros incêndios estruturais que ocorrem não só no Brasil, mas em todo o mundo, a maioria é em residências (Corrêa, 2024). Partindo deste princípio, é inegável que o estudo mais aprofundado das ocorrências de incêndios residenciais deve ser proposto, visando mitigar os efeitos desses episódios.

Ilustrando o argumento acima, em Portugal, a maioria dos incêndios urbanos ocorre em edifícios residenciais, representando cerca de 73% de todos os eventos entre 2013 e 2022 (Bispo et al., 2023). Já na China, segundo Xin e Huang (2013), incêndios em edifícios, especialmente residenciais, continuam a ser uma preocupação crítica, pois 39,7% de todos os incêndios ocorreram em edifícios residenciais entre os anos de 2007 e 2010.

Além do grande número de ocorrências de incêndios em estruturas residenciais, pesa o fato de que esses sinistros causam muitas perdas de vida. Na Irlanda, os eventos com vítimas fatais ocorridos em residências particulares correspondem a 97,92% do total de sinistros ocorridos durante 2014 e 2016 (Doyle; Lyons; Lynn, 2019). De acordo com Hall (2023), em 2022, apenas 25% de todos os incêndios ocorreram em propriedades residenciais nos Estados Unidos, mas estes causaram 72% das mortes de civis e os feridos corresponderam a 75% da totalidade de vítimas dos incêndios estruturais. Como mencionado por Xin e Huang (2013), o número de mortes ocasionados por incêndios residenciais corresponderam a aproximadamente 77% do total de perdas humanas por sinistros de incêndio de 2007 a 2010 na China.

Mais de 80% das fatalidades em incêndios no Estado de São Paulo, em determinado período de estudo (2012-2014), ocorreram em residências (Santos, 2016). Os incêndios em habitações na Região Metropolitana do Recife, de 2013 a 2016, correspondem a cerca de 33% de todos os

incêndios registrados e são destacados pelo protagonismo em número de mortes e feridos. Segundo os dados levantados, representaram 94% dos incêndios que geraram mortes e 88% dos que provocaram ferimentos nas vítimas aconteceram em edificações residenciais (Menezes; Corrêa, 2022). Em Belo Horizonte, entre 2022 e 2023, o número de incêndios residenciais (unifamiliar ou multifamiliar) com registro de pessoas feridas correspondeu a 89,47% do total (Santos; Corrêa; Krüger, 2024).

2.1 Carga de incêndio

O avanço e a extensão de um incêndio são determinados de forma direta pela quantidade de materiais inflamáveis presentes e sua capacidade de combustão. Uma estrutura construída com concreto armado, desprovida de qualquer material suscetível à combustão em seu interior, incluindo móvel, apresenta uma situação completamente distinta quando comparada a uma estrutura utilizada como depósito de papel, por exemplo.

A carga de incêndio representa o total de calor que pode ser gerado pela queima completa de todos os materiais inflamáveis presentes em um ambiente, incluindo os revestimentos das paredes, divisórias, pisos e tetos (Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, 2020).

A densidade de carga de incêndio, também chamada de carga de incêndio específica, é o resultado da divisão da carga de incêndio total pela área do piso do local em questão. Esse valor é expresso em unidades de megajoules (MJ) por metro quadrado (m^2) ou em quilogramas equivalentes de madeira seca por metro quadrado (m^2) (Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, 2020).

De acordo com normas brasileiras (ABNT, 2001; Corpo de Bombeiros de Militar Minas Gerais, 2020; Corpo de Bombeiros Militar de Goiás, 2018), a carga de incêndio específica estabelecida para a ocupação residencial é de 300 MJ/ m^2 , sendo considerada uma ocupação de baixo risco. Tais normas estabelecem que a carga de incêndio específica será estipulada através do método determinístico pela seguinte expressão:

$$q_{fi} = \frac{\sum(M_i \cdot H_i)}{A_f}$$

(2.1)

Onde:

q_{fi} é o valor da carga de incêndio específica (em megajoule por metro quadrado de área de piso);

M_i é a massa total de cada componente i do material combustível (em quilograma);

H_i é o potencial calorífico específico de cada componente i do material combustível (em megajoule por quilograma);

A_f é a área do piso do compartimento (em metro quadrado).

2.2 Programa de habitação de interesse social – Minha Casa, Minha Vida

O Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV) é uma iniciativa do governo brasileiro que visa facilitar o acesso à moradia para famílias de baixa renda. Ele oferece subsídios e condições especiais de financiamento para aquisição da casa própria. O programa busca reduzir o déficit habitacional e melhorar as condições de vida de milhões de brasileiros. Em geral, as unidades habitacionais destinadas a famílias de baixa renda possuem uma média de tamanho compacto, visando atender às necessidades básicas e otimizar a eficiência do programa.

Lançado em 2009, o PMCMV concede subsídios expressivos, principalmente para a população que possui renda de 0 a 3 salários mínimos. O programa mais atual, lançado em 2023, tem a projeção de lançar mais de 2 milhões de unidades habitacionais contratadas até 2026, segundo Jader Filho, ministro das Cidades do Brasil (Planalto, 2023).

A concepção de programas habitacionais de baixa renda, como o PMCMV, é restrita por limitações econômicas, o que resulta em soluções quase uniformes. Restrições financeiras vinculam os valores das obras aos

limites de financiamento das diferentes faixas salariais, restringindo o projeto a áreas muito próximas aos mínimos exigidos pelo órgão financiador. Essas restrições de área e custo interferem nos projetos e, por conseguinte, nas construções. Do planejamento à execução, a atenção para atender adequadamente com conforto e segurança o usuário é frequentemente negligenciada, priorizando a produção em massa de unidades acessíveis ao público em geral. A ênfase na quantidade muitas vezes resulta na diminuição da qualidade, começando pelo próprio projeto arquitetônico (Silva; Tinoco, 2013).

Em decorrência do grande deficit habitacional, observa-se um aumento na quantidade de moradias e áreas urbanas não regulamentadas, criando um ambiente propenso a incêndios. Portanto, o progresso desse desenvolvimento está diretamente ligado à necessidade de garantir a segurança da população que ocupa esses espaços, especialmente em casos de incêndio (Bonitese, 2007).

Nos últimos anos, tem sido observado o surgimento de edificações residenciais cada vez menores, e essas contam com objetos que são mais inflamáveis, de materiais mais sintéticos, que acabam tornando os incêndios mais perigosos. Partindo desses pontos, é de suma importância conduzir os dados para as residências menores, pois se apresentam em grande escala e vêm em crescimento na cidade do Recife. Portanto, é necessário maior foco nesse tipo de edificação para entender o comportamento dos incêndios em ambientes de escala menor e que estão em maior quantidade.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido visando dimensionar a carga de incêndio em edificações residenciais na cidade do Recife, onde primeiramente foi calculado tais valores para o edifício modal proposto por Corrêa et al., (2018) e, em seguida, para uma unidade habitacional do PMCMV na mesma região.

Como forma de representação de edifícios mais propícios à incêndios, de acordo com a sua ocupação, foi conduzida, durante o período de três anos (2011 a 2013), uma análise para mapear os incidentes de incêndio na cidade do Recife. Durante esse estudo, observou-se que a maioria dos

incêndios ocorreu em residências, sendo essas frequentemente construídas com apenas um andar e destinadas à habitação de uma única família (Corrêa et al., 2015).

Em seguida, desenvolveu-se um modelo representativo das construções afetadas pelo incêndio, denominado de “Edifício Modal”, baseando-se na moda estatística desses sinistros. Esse modelo incorporou a disposição do mobiliário com base nos objetos mais frequentemente encontrados nos incêndios analisados (Corrêa et al., 2018).

Neste estudo, o foco principal foi na avaliação qualitativa do primeiro ano, especialmente nos incêndios residenciais, que eram os eventos mais frequentes. Cada incidente foi investigado quanto à sua localização na cidade, estrutura da edificação, área construída, objetos principais que contribuíram para a carga incendiária, possível ponto inicial do incêndio, e outros fatores, formando, assim, um panorama detalhado desses desastres (Corrêa, 2017).

O presente trabalho foi conduzido de acordo com os dados colhidos e tratados por tal pesquisa. Com os dados validados, é possível estabelecer um parâmetro para os devidos cálculos. Partindo deste princípio, os dados foram diretamente colhidos deste trabalho conduzido por Corrêa et al. (2018), no qual foram respeitados todos os requisitos para estabelecer satisfatoriamente o edifício modal da cidade do Recife.

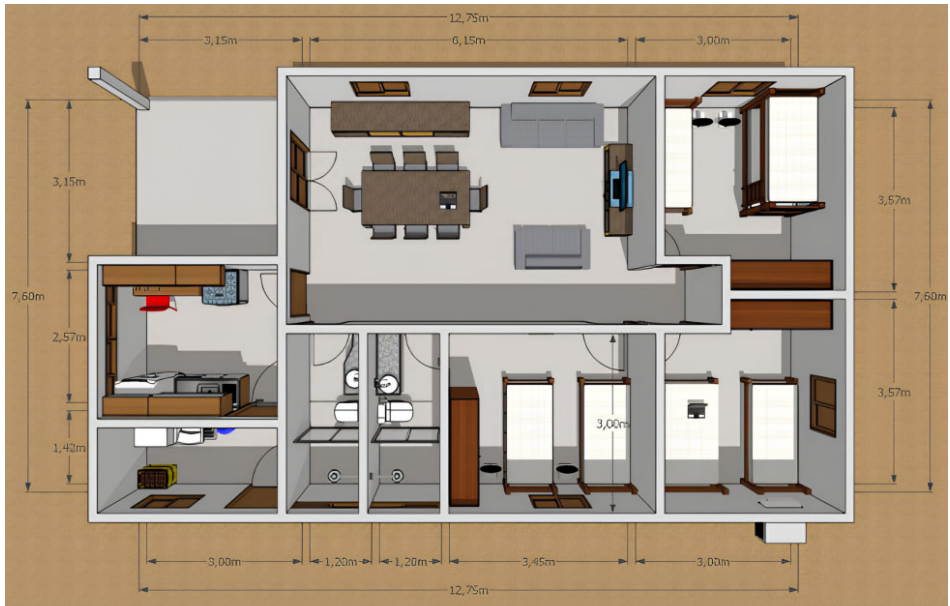
Posteriormente, foram adquiridas informações de uma planta residencial pertencente ao PMCMV na cidade do Recife, visando conduzir os cálculos para este tipo de edificação. Trata-se de uma planta em uso de um empreendimento real pertencente a um conjunto habitacional de moradia popular em Recife, em construção de tipologia “H”, apresentando quatro apartamentos por andar. Tal tipo de edifício é bastante comum na região em estudo.

A carga de incêndio que foi encontrada para o edifício modal envolveu várias dimensões, seja para edificações pequenas ou para edificações grandes. Como era uma tendência central, foi definido a média de 97 m² para o edifício modal, pois contou com edificações com áreas muito grandes e que deveriam constar nos cálculos. Contudo, a média de edificações atendidas por ocorrências de incêndio, em Recife, é menor.

3.1 Edifício modal estabelecido

O edifício modal é a busca da moda estatística para representar o edifício que sofre incêndios na cidade do Recife. Contando com a análise de mais de mil incêndios na capital pernambucana, foi alcançado a carga de incêndio modal para todas as áreas médias dos cômodos e a área total (Corrêa et al., 2018). Foi estabelecido para a cidade do Recife uma edificação residencial em alvenaria (tijolos cerâmicos), com cobertura de telhas cerâmicas e instalações elétricas e sanitárias embutidas, que apresenta, em média 97,07 m², divididos em: três quartos, sendo uma suíte, sala, cozinha e área de serviço. A Figura 1 reproduz a planta do edifício modal, com as cargas de incêndio e as dimensões dos cômodos.

Figura1 – Edifício modal – incêndios em Recife (2011)

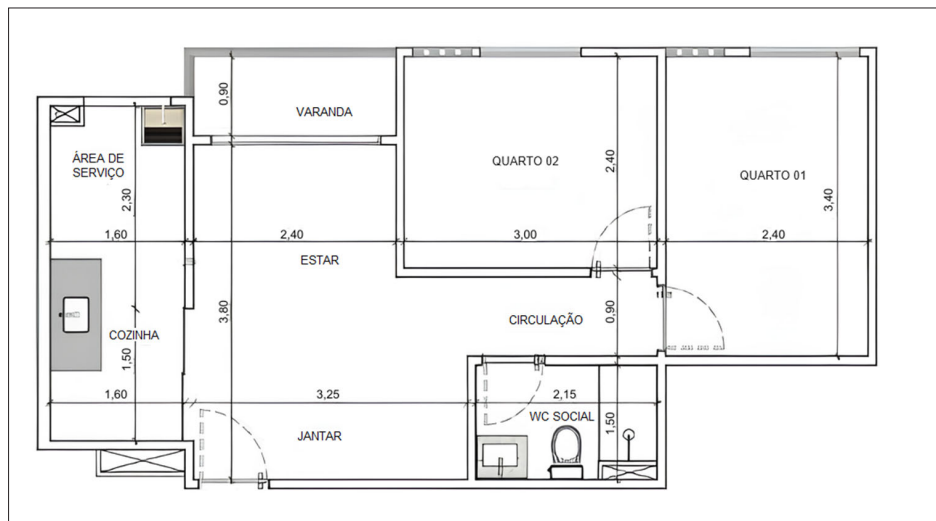


Fonte: Corrêa, 2017.

3.2 Edifício de interesse social

A segunda edificação utilizada para calcular a carga de incêndio foi definida através de pesquisas, em que foram colhidas informações referentes às unidades habitacionais do PMCMV na cidade do Recife. A Figura 2, a seguir, expõe a planta escolhida do projeto desenvolvido na mesma região onde foi convencionado o edifício modal. Tal habitação é constituída por sala, dois quartos, banheiro, varanda, cozinha e área de serviço, com área de 45 m², em média.

Figura 2 – Edifício de interesse social



Fonte: restrito.

3.3 Carga de incêndio do edifício modal

Para analisar a carga de incêndio do tipo de construção em questão, foram examinados os registros de incêndios estruturais ocorridos em 2011, na cidade de Recife. Foram avaliados todos os itens atingidos ou prejudicados, atribuindo valores quantitativos através de ponderação com a população do local e considerando fatores como o número de cômodos e a extensão da área construída (Corrêa, 2017).

Por conseguinte, a carga de incêndio foi determinada como: 1 mesa em madeira, 1 beliche em madeira, 5 camas em madeira, 3 armários em madeira, 3 guarda-roupas em madeira/aglomerados, 7 colchões, 1 estante em madeira, 8 cadeiras em madeira, 1 cadeira plástica, 3 televisores, 1 DVD, 4 ventiladores, 1 ar-condicionado, 2 computadores, 1 máquina de lavar, 1 fogão, 1 geladeira, 2 cilindros de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), 1 micro-ondas, 2 engradados de bebidas, 5 garrafas de bebidas alcoólicas e 2 sofás em espuma.

Como forma de determinar a carga de incêndio total, mas calculando por cômodos, de maneira individual, vamos separar todos os materiais de acordo com o edifício modal estabelecido:

- Sala: 1 mesa em madeira, 8 cadeiras em madeira, 1 estante em madeira, 2 sofás em espuma, 1 televisor, 1 DVD, 1 computador e 1 armário em madeira;
- Cozinha: 1 fogão, 1 geladeira, 1 cilindro de GLP, 1 micro-ondas, 5 garrafas de bebidas alcoólicas, 1 cadeira plástica e 2 armários em madeira;
- Quarto 1: 1 beliche em madeira, 1 cama em madeira, 1 guarda-roupa de madeira/aglomerado, 3 colchões e 2 ventiladores;
- Quarto 2: 2 camas em madeira, 2 colchões, 1 guarda-roupa de madeira/aglomerado, 1 ar-condicionado, 1 televisor e 1 computador;
- Quarto 3: 2 camas em madeira, 2 colchões, 1 guarda-roupa de madeira/aglomerado, 2 ventiladores e 1 televisor;
- Área de serviço: 1 máquina de lavar, 1 cilindro de GLP e 2 engradados de bebidas.

3.4 Massa dos elementos combustíveis

Visando obter as massas dos objetos constituintes do edifício modal, foram realizadas pesquisas em diversos sites de vendas dos materiais, levando em consideração os modelos mais vendidos e mais utilizados nas residências. Após captar as massas, é possível realizar os cálculos da carga de incêndio, relacionando-os com os valores do poder calorífico do material.

A seguir, são apresentados dois exemplos do cálculo da carga de incêndio do beliche e do colchão. O beliche de madeira é demonstrado na Figura 3. Logo depois, suas devidas especificações técnicas (Figura 4).

Figura 3 – Beliche em madeira



Fonte: site da Loja Leroy Merlin, 2024

Figura 4 – Especificações técnicas do beliche em madeira

Classificação da Cama	Solteiro
Tipo de Cama	Padrão
Modelo de Cama	Beliche
Tipo de Material	Madeira Cedro
Marca	Multimóveis
Cor	Imbuia
Tonalidade	Marron
Altura	164,00 cm
Largura	195,00 cm
Profundidade	95,00 cm
Comprimento	188,00 cm
Peso do Produto	37,00 Kg
Contêm na Embalagem	1 beliche, manual de montagem e kit ferragem.
Instruções de Montagem	O produto acompanha manual de montagem juntamente com parafusos, pregos, cavilhas, entre outros. O produto será entregue desmontado e não disponibilizamos o serviço de montagem.
Garantia do Fabricante	3 mes(es)
Modelo	CR4132761

Fonte: site da Loja Leroy Merlin, 2024.

Como descrito na figura anterior, a massa do beliche é de 37 kg, e de acordo com valores tabelados nas instruções técnicas, o poder calorífico específico da madeira é 19 MJ/kg. Desta forma, tem-se que a carga de incêndio do beliche encontrada é:

$$q_{\text{beliche}} = 37 \text{ kg} \times 19 \text{ MJ/kg} = 703 \text{ MJ}$$

Segue-se com o exemplo de um colchão, com a imagem do produto e suas respectivas especificações técnicas.

Figura 5 – Colchão em espuma



Fonte: site da Amazon, 2024.

Figura 6 – Especificações técnicas do colchão em espuma

Cor	Grafite
Peso do produto	5,23 Quilogramas
Material de Preenchimento	Espuma
Tipo de material	Tecido
Tamanho	Solteiro
Marca	Ortobom
Dimensões da embalagem	188 x 88 x 18 cm; 5,23 quilogramas
EAN	7896988317420

Fonte: Site da Amazon, 2024.

Com isso tem-se que a massa do colchão é 5,23 kg e o poder calorífico específico da espuma de poliuretano é de 23 MJ/kg. O que nos dá uma carga de incêndio de:

$$q_{colchão} = 5,23 \text{ kg} \times 23 \text{ MJ/kg} = 120,29 \text{ MJ}$$

Através desses valores, é possível determinar a carga de incêndio de cada objeto e o conjunto destes leva ao CI do cômodo.

3.5 Tratamento dos dados

Após realizar a análise das quantidades e das composições de massa de cada elemento combustível, o passo subsequente envolve a determinação da carga de incêndio particular de cada cômodo. Para isso, utilizamos as tabelas apresentadas na IT-09 do CBM-MG (Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, 2020) sobre os valores do potencial calorífico específico. Outros valores também foram encontrados através de pesquisas de Hurtado (2013).

É importante destacar que a inclusão das áreas de banheiros e quintais na análise pode ser opcional, uma vez que a carga de incêndio nessas regiões é geralmente baixa e pode ser negligenciada. Portanto, a decisão de considerá-las ou não deve depender da possibilidade de a carga ter um impacto substancial na avaliação, sendo uma escolha deixada ao critério do pesquisador. A carga de incêndio levantada do edifício modal não leva em consideração materiais dessas áreas, como esperado.

A seguir é apresentado a Tabela 1, demonstrando as áreas dos ambientes do edifício modal, parâmetro que será de suma importância para a determinação da carga de incêndio específica. Os itens terraço, banheiros e circulação representam os cômodos de “zonas frias” que não possuem carga de incêndio com relevância.

Tabela 1 – Áreas dos cômodos do edifício modal

Cômodo	Área (m²)
Sala	26,46
Cozinha	7,71
Quarto 1	10,6
Quarto 2	10,6
Quarto 3	10,35
Área de serviço	4,26
Terraço	9,92

Cômodo	Área (m ²)
Banheiros	7,2
Circulação	1,26

Fonte: dados de pesquisa.

Com os dados das áreas dos cômodos, das massas dos materiais e de seus devidos valores de potencial calorífico, realizamos todos os cálculos para determinar a CI de cada ambiente através da fórmula (2.1), apresentada anteriormente. Alguns materiais precisam contar com a perícia e o bom senso do pesquisador, pois contam com partes combustíveis e não combustíveis, como o aparelho televisor, por exemplo. Com isso, é possível estabelecer o peso do material combustível de acordo com a percentagem constituinte no objeto.

Utilizando a planta de unidade habitacional do PMCMV do governo federal, para a cidade do Recife, será possível obter a carga de incêndio específica para grande parte dos apartamentos ocupados atualmente. Tais residências possuem uma área média de 45 m². A obtenção dos resultados se deu por levantamento da planta, cálculo da área dos cômodos, os devidos tratamentos dos dados para atribuição da CI calculada para o edifício modal e, por fim, o cálculo da CI específica para o edifício de interesse social.

A Tabela 2 apresenta os dados das áreas dos cômodos da residência do PMCMV. Ela é composta por sala, dois quartos, banheiro, varanda, cozinha e área de serviço. Neste modelo de residência, a área de serviço é uma extensão da cozinha. Conforme já mencionado, o banheiro não consta nos cálculos por cômodo, por não haver carga de incêndio relevante, e isso também serve para a varanda e a área de circulação, mas as áreas dos mesmos também estão representadas na tabela.

Tabela 2 – Áreas dos cômodos do edifício de interesse social

Cômodo	Área (m ²)
Sala	10,39
Cozinha/área de serviço	6,08
Quarto 1	8,16
Quarto 2	7,2
Banheiro	3,22

Cômodo	Área (m ²)
Varanda	2,16
Área de circulação	2,7

Fonte: dados de pesquisa.

Utilizamos o mesmo levantamento para as CIs do edifício modal, visto que os materiais foram definidos através de resultados estatísticos, servindo para habitações de diversas áreas. Como as unidades habitacionais do programa possuem dois quartos, consideramos os quartos do edifício modal com as duas menores cargas de incêndio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 3, a seguir, apresentamos os resultados encontrados para a sala do edifício modal, levando em consideração toda referência do tratamento dos dados.

Tabela 3 – Cargas de incêndio para os itens combustíveis da sala do edifício modal

Móvel	Quantidade	Massa Unit (kg)	Massa total (kg)	Potencial calorífico (MJ/kg)	Carga de incêndio (MJ)
Mesa em madeira	01	47	47	19	893
Cadeira em madeira	08	6	48	19	912
Estante em madeira	01	58	58	19	1102
Sofás em espuma	02	57 ^[1]	114	18 e 19	2128
Televisor	01	1 ^[2]	1	31	31
DVD	01	0,2 ^[2]	0,2	31	6,2
Computador	01	0,4 ^[2]	0,4	31	12,4
Armário em madeira	01	43	43	19	817
Total					5.901,6

[1]: madeira e espuma; [2]: plástico.

Fonte: dados de pesquisa.

A CI total da sala, cuja área é de 26,46 m², ficou em 5.901,6 MJ, o que resulta em uma carga de incêndio específica de 223,04 MJ/m². O mesmo procedimento foi realizado para os demais cômodos (cozinha, quarto 1, quarto 2, quarto 3 e área de serviço), conforme o Apêndice A.

Para a cozinha, a geladeira possui diversos materiais em sua composição, cabendo novamente o bom senso, a perícia e a consulta do pesquisador para separar os pesos aproximados dos materiais combustíveis. Isso vale também para o fogão, o cilindro GLP, as garrafas de bebida alcoólica e o micro-ondas. Assim como nos cômodos anteriores, os quartos também possuem materiais que contam com partes combustíveis e não combustíveis, sendo considerado para o cálculo apenas o peso dos componentes combustíveis.

A Tabela 4 exibe um pequeno resumo com os dados dos cômodos do edifício modal, abordando a CI total destes e a área, findando na carga de incêndio específica individual dos compartimentos.

Tabela 4 – Carga de incêndio específica para cada cômodo do edifício modal

Cômodo	Carga de incêndio (MJ)	Área (m ²)	Carga de incêndio específica (MJ/m ²)
Sala	5.901,6	26,46	223,04
Cozinha	3.226,45	7,71	418,48
Quarto 1	4.044,83	10,6	381,59
Quarto 2	3.599,98	10,6	339,62
Quarto 3	3.537,54	10,35	341,79
Área de serviço	976,14	4,26	229,14

Fonte: dados de pesquisa.

Na Tabela 5, é apresentada a CI total do edifício modal em estudo, levando em consideração toda a área da residência.

Tabela 5 – Carga de incêndio específica do edifício modal

Carga de incêndio (MJ)	21.286,54
Área (m ²)	97,07
Carga de incêndio específica (MJ/m ²)	219,29

Fonte: dados de pesquisa.

Com a CI total de todos os cômodos do edifício modal, conseguimos obter a CI específica de 219,29 MJ/m², relacionando com a área total de 97,07 m². Diversas considerações foram realizadas no tratamento dos dados. Como dito anteriormente, vários produtos possuem materiais combustíveis e não combustíveis que precisam ser separados para a definição do peso e, assim, chegar no valor da CI relativa. Outros produtos são compostos por mais de um material combustível e teve seu cálculo realizado de maneira separada (nas tabelas 3 e 4 constam os valores totais de cada produto). O cilindro de GLP possui em seu interior material com CI, cujo valor varia bastante de acordo com sua utilização.

A área total do edifício modal foi um precedente que interferiu diretamente no valor da CI específica, pois ficou estabelecido um valor que está acima da média das residências mais atuais. Isso foi resultado de uma representação de todos os incêndios residenciais que ocorreram na região em estudo determinado por Corrêa (2016), incluindo os que ocorreram em edificações de grandes dimensões, com mais de 500 m². Mesmo em frequências menores, os incidentes interferiram categoricamente na média, pois deu rebatimento na média ponderada calculada para o edifício modal. Porém, é entendido que todos os incêndios ocorridos deveriam participar do cálculo, visando manter a legitimidade dos dados.

Os resultados obtidos da CI específica na maioria dos cômodos do edifício modal foram superiores ao que as normas estabelecem, sobretudo pela presença de objetos mais concentrados em áreas menores. Tais valores podem indicar possíveis ambientes que necessitam de maior atenção em uma residência, como a cozinha e os quartos, e que deveriam ter uma análise mais cuidadosa numa eventual avaliação de riscos. Além disso, podem ter importância na atuação de profissionais que vão realizar o combate do incêndio, com a possibilidade de elaborarem as estratégias de acordo com o cômodo atingido.

No mais, o resultado para o edifício modal como um todo mostra que as zonas frias (banheiro, terraço, etc.) contribuem significativamente para diminuição da carga de incêndio específica, pois têm áreas relativas e não contam com carga de incêndio relevante. Todavia, o edifício modal talvez pudesse não se enquadrar como uma edificação de risco baixo, pois

nem sempre o incêndio atinge a totalidade da edificação, mas alguns ou até mesmo um cômodo. Contudo, fazem-se necessários maiores estudos nesse sentido.

Concluído a apuração referente ao edifício modal, vê-se os cálculos do edifício de interesse social. Em seguida, são apresentados os valores das cargas de incêndio específicas, de acordo com as cargas de incêndio já definidas. Os dados apresentados na Tabela 6 expõem a CI específica para cada cômodo da unidade habitacional do PMCMV, utilizando, para isso, as CIs calculadas anteriormente no edifício modal.

Tabela 6 – Carga de incêndio específica para cada cômodo do edifício de interesse social

Cômodo	Carga de incêndio (MJ)	Área (m ²)	Carga de incêndio específica (MJ/m ²)
Sala	5.901,6	10,39	568,01
Cozinha/área de serviço	4.202,59	6,08	691,21
Quarto 1	3.599,98	8,16	441,17
Quarto 2	3.537,54	7,2	491,32

Fonte: dados de pesquisa.

Após obter as CIs específicas para cada cômodo, a próxima etapa consiste em calcular a carga para toda a unidade habitacional, utilizando as CIs de todos os cômodos e relacionando-as com a área total. Na Tabela 7, a seguir, são apresentados os valores encontrados.

Tabela 7 – Carga de incêndio específica do edifício de interesse social

Carga de incêndio (MJ)	17.241,71
Área (m ²)	45
Carga de incêndio específica (MJ/m ²)	383,15

Fonte: dados de pesquisa.

A CI específica encontrada para a unidade habitacional popular foi de 383,15 MJ/m², respeitando os mesmos parâmetros utilizados para obter o resultado para o edifício modal. Os resultados encontrados podem indicar

que as residências de menores dimensões possuem carga de incêndio específica superior aos de maiores dimensões, mesmo levando em consideração todas as informações citadas anteriormente e sem considerar os demais objetos que estão inseridos nos móveis (como roupas, produtos de beleza, livros, etc.), até por falta de informações e dificuldade em definir tais objetos.

Assim como no edifício modal, os cômodos do edifício de habitação popular apresentaram valores acima dos estabelecidos em normas, apenas diferenciando na proporção. Esses apuramentos também podem representar uma possível tendência de cargas de incêndio específicas mais altas em cômodos característicos, como quartos e cozinha, seja pela área dos mesmos, seja pela quantidade de objetos com elementos combustíveis.

A CI em edificações residenciais deve ser levada em consideração e precisa de dimensionamentos mais aprofundados, visando preservar a saúde e garantir segurança aos seus ocupantes. Tais medidas podem diminuir o índice de mortos e feridos envolvendo ocorrências de incêndio, pois, com suas implementações, há a oportunidade de evitar e identificar potenciais riscos, antes que se tornem problemas maiores, contribuindo para possíveis melhorias nesse setor que carece de análises.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo se concentrou no levantamento das ocorrências de sinistros em estruturas para avaliar as cargas de incêndio em edificações residenciais, utilizando o edifício modal na cidade do Recife como referência. Adicionalmente, foi elaborada a carga de incêndio específica para uma unidade de habitação popular do Programa Minha Casa, Minha Vida, buscando determiná-las para diferentes padrões de construção, considerando que a densidade da carga de incêndio específica é expressa por unidade de área.

Através da análise do referencial, observou-se que uma parte considerável dos incêndios urbanos no mundo e no Brasil ocorrem em edificações residenciais. No caso de Recife, região delimitada para este estudo, as residências são os locais mais atingidos, concentrando a maior quantidade de mortos e feridos.

De acordo com a revisão das normas brasileiras por unidade federativa e com base na norma ABNT NBR 14432:2001 e Instruções Técnicas dos Corpos de Bombeiros Militar no Brasil, o valor estipulado para a carga de incêndio específica em construções residenciais é de 300 MJ/m², ficando estabelecido esse parâmetro como referência normativa para o estudo apresentado.

Observou-se que, para o edifício modal, os ambientes da cozinha (418,48 MJ/m²) e dos quartos (381,59 MJ/m²; 339,62 MJ/m² e 341,79 MJ/m²), tiveram carga de incêndio específica superior ao que é tabelado pelas normas, mas na edificação como um todo, isto é, considerando também as “partes frias” da residência, como banheiros e terraço, o valor encontrado foi de 219,29 MJ/m², compatível com os 300 MJ/m² estabelecido pelas normas.

Para a edificação de interesse social do tipo Minha Casa, Minha Vida, a carga de incêndio específica, estimada a partir de estudos baseados em mais de mil incêndios na cidade do Recife, apontam que existe uma disparidade entre o valor tabelado e o valor normativo. Ou seja, o valor real é muito superior ao normativo, tanto no quesito geral da edificação, sendo 383,15 MJ/m², quanto por cômodos, com ênfase para a cozinha/área de serviço, com 691,21 MJ/m², muito em função de não haver separação dos cômodos estruturalmente. Mas em quase todos os cômodos (sala: 568,01 MJ/m²; quartos: 441,17 MJ/m² e 491,32 MJ/m²) os valores foram bem maiores do que é convencionado nas normas.

Através da análise dos resultados, fica evidente que o elemento determinante na definição dos parâmetros de segurança, com o intuito de assegurar a implementação das práticas mais eficazes nos protocolos de prevenção contra incêndios, reside nas dimensões das estruturas, destacando-se, neste caso particular, as áreas das residências. Os objetos também foram um fator importante utilizado para o cálculo da carga de incêndio específica e que interferiu diretamente nos cálculos. Os móveis foram definidos apenas por levantamentos de incêndios acontecidos na cidade do Recife, não havendo separação por área da residência, mas é realizada uma média direta para todos os tipos de edificações residências. Vê-se neste estudo que as residências menores possuem valores mais preocupantes para carga de incêndio específica e, conseqüentemente, maior nível de risco.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. NBR 14432: exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações- procedimento. ABNT, Rio de Janeiro, 2001.

BISPO, R.; MARQUES, F. J.; PENHA, A.; ESPADINHA-CRUZ, P.; GRILLO, A. A decade of urban fires: Portuguese events between 2013 and 2022. *Scientific Data*, [S. l.], v. 10, n. 569, 2023.

BONITESE, K. V. Segurança contra incêndio em edifício habitacional de baixo custo estruturado em aço. 2007. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)- Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2007.

CAMICO, S; COSTA, W.; BUZAR, M. Amplitude da legislação de incêndio brasileira: Efeitos da liberdade legislativa constitucional. *Revista FLAMMAE*, Recife, v. 9, n. 26, p. 203-233. 2023.

CARNIELLETO, E. C.; CASTRO, M. G.; ARAÚJO, R. L. Análise da importância de medidas de segurança contra incêndio em residências unifamiliares. *Revista FLAMMAE*, [S. l.], v. 5, n. 12, p. 77-103. 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE GOIÁS. Norma Técnica 14/2020: Carga de incêndio nas edificações e área de risco. *Estado de Goiás Corpo de Bombeiros Militar*, Goiânia, 2018.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR MINAS GERAIS. Diretoria de atividades técnicas Instrução Técnica n. 09- Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco. *Corpo de Bombeiros Militar Minas Gerais*, Belo Horizonte, 2020.

CORRÊA, C.; CAJATY BRAGA, G.; BEZERRA JUNIOR, J.; SILVA, J.JR.; TABACZENSKI, R.; PIRES, T. A. Incêndio em compartimento de residência na cidade do Recife: Um estudo experimental. *Revista ALCONPAT*, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 215-230, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v7i3.221>

CORRÊA, C. Incêndios no Brasil: mapeamento e letalidade. *Revista de Gestão e Secretariado*, São Paulo, v. 15, n. 11, e4402, 2024. <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i11.4402>

CORRÊA, C. *Mapeamento dos incêndios em edificações: o edifício modal e suas aplicações, com foco na cidade de Recife*. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia

Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 2017.

CORRÊA, C.; SILVA, J. J. R.; PIRES, T. A.; BRAGA, G. C. B. Mapeamento de Incêndios em Edificações: Um estudo de caso na cidade do Recife. *Revista de Engenharia Civil IMED*, Governador Valadares, v. 2, n. 3, p. 15-34, 2015.

CORRÊA, C.; SILVA, J. J. R.; PIRES, T. A.; MELO, I. A. V.; BRAGA, G. C. Edifício Modal: uma representação para o Estudo de Incêndios na cidade de Recife. *CIENTEC-Revista de Ciência, Tecnologia e Humanidades do IFPE*, Recife, v. 10, n. 1, 2018. Disponível em: <https://revistas.ifpe.edu.br/cientec/article/view/181>

DOYLE, A.; LYONS, S.; LYNN, E. Profile of fire fatalities in Ireland using coronial data. *Fire Safety Journal*, [S. l.], v. 110, 2019.

HALL, S. Fire loss in the United States. *NFPA*, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.nfpa.org/education-and-research/research/nfpa-research/fire-statistical-reports/fire-loss-in-the-united-states>. Acesso em: 13 mar. 2024.

HURTADO, J. E. *Metodologia para levantamentos de cargas de incêndio em edificações residenciais*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2013.

MATA, K. L. *Análise da influência do combate a incêndio nas temperaturas de um compartimento*. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas)- Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (ufmg), Belo Horizonte, 2019.

MENEZES, R.; CORRÊA, C. ‘Entre mortos e feridos’: mapeamento, caracterização e análise dos incêndios com vítimas na região metropolitana do Recife. *Open Science Research VI*, [S. l.], v. 6, p. 1493-508, 2022. DOI:<https://doi.org/10.37885/220910029>

PLANALTO. Minha Casa, Minha Vida: projeção de superar 2 milhões de contratações até 2026. *Gov.br Planalto*, Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2023/11/minha-casa-minha-vida-projecao-de-superar-2-milhoes-de-contratacoes-ate-2026>. Acesso em: 13 mar. 2024.

SANTOS, J.; CORRÊA, C.; KRÜGER. Incêndios com mortos e feridos em Belo Horizonte: caracterização e análise. *CILASCI 7*, São Paulo, 2024.

SANTOS, M. P. Uso de detectores de incêndio para redução de mortes ocasionadas por incêndios em residências unifamiliares. *Revista FLAMMAE*, [S. l.], v.2, n.3, p. 262-264, 2016.

SILVA, E.; TINOCO, M. A segurança contra incêndio nos projetos do programa de habitação de interesse social – Minha Casa, Minha Vida- Análise de um bloco de apartamento “tipo H”. *PROJETAR*, Salvador, 2013.

XIN, J.; HUANG, C.F. Fire risk analysis of residential buildings based on scenario clusters and its application in fire risk management. *Fire Safety Journal*, [S. l.], v.62, p.72-78, nov. 2013.

