

CAPÍTULO 10

INVESTIGAÇÃO DO TEMPO DE ESCAPE COM A UTILIZAÇÃO DE SIMULAÇÕES DE INCÊNDIO E EVACUAÇÃO EM ESCOLA DA REDE PÚBLICA

Fernanda Ribeiro Jordão Guimarães

Doutora em Engenharia de Materiais
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
E-mail: ferjordao@cefetmg.br

Fernando Gabriel S. Araújo

Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Minas
Universidade Federal de Ouro Preto
E-mail: fgabriel@ufop.edu.br

Antônio Maria Claret de Gouveia

Doutor em Engenharia Civil
Universidade Federal de Ouro Preto
E-mail: claret@ufop.edu.br

RESUMO: Este estudo investigou o uso de simulações de incêndio e evacuação como uma ferramenta para a avaliação e melhoria da Segurança Contra Incêndios (SCI) em ambientes educacionais. A pesquisa foi realizada no Centro de Educação Tecnológico de Minas Gerais (CEFET/MG), localizado em Araxá/MG. A justificativa central do estudo é a necessidade urgente de dados empíricos e precisos para fortalecer a legislação brasileira relacionada à segurança contra incêndios em instituições de ensino, onde é crucial considerar a vulnerabilidade dos usuários desses espaços, principalmente crianças e jovens, que representam um grupo de alta vulnerabilidade em situações de emergência. A metodologia adotada envolveu simulações de incêndio e evacuação com jovens entre 14 e 19 anos, tanto sem treinamento e com aviso quanto com treinamento e aviso. O objetivo principal foi gerar dados quantitativos e qualitativos robustos que possam subsidiar e orientar a revisão e elaboração de normas e diretrizes específicas para a segurança contra incêndios em ambientes educacionais no Brasil. As simulações de treinamento de evacuação mostraram-se fundamentais para preparar os usuários a agirem de maneira organizada, evitando tumultos e pânico. Este estudo contribui significativamente para o avanço do conhecimento e das práticas em Segurança Contra Incêndios, fornecendo informações valiosas que podem influenciar positivamente a legislação e as diretrizes de segurança, visando proteger efetivamente a vida e o bem-estar de todos os ocupantes de estabelecimentos educacionais no país.

PALAVRAS-CHAVE: incêndio, evacuação, projeto, segurança, simulação.

ABSTRACT: This study investigated the use of fire and evacuation simulations as an advanced tool for the assessment and improvement of Fire Safety (FS) in educational environments. The research was conducted at the Technological Education Center of Minas Gerais (CEFET/MG), located in Araxá/MG. The central justification for the study

is the urgent need for empirical and accurate data to strengthen Brazilian legislation related to fire safety in educational institutions. It is crucial to consider the vulnerability of the users of these spaces, mainly children and young people, who represent a highly vulnerable group in emergency situations. The methodology adopted involved fire and evacuation simulations with young people aged 14 to 19, both without prior training and warning and with training and warning. The main objective was to generate robust quantitative and qualitative data that could support and guide the revision and development of specific norms and guidelines for fire safety in educational environments in Brazil. The evacuation training simulations proved to be fundamental in preparing users to act in an organized manner, avoiding chaos and panic. This study significantly contributes to the advancement of knowledge and practices in Fire Safety, providing valuable information that can positively influence legislation and safety guidelines, aiming to effectively protect the lives and well-being of all occupants of educational establishments in the country.

KEYWORDS: fire, evacuation, design, safety, simulation.

1. INTRODUÇÃO

“Incêndio se apaga no projeto!”: esta frase resume toda a justificativa econômica e social que o tema abrange. A importância do planejamento é medida pelos sinistros evitados e não pelos incêndios extintos (BRASIL, 1995). Essas palavras evidenciam a responsabilidade dos projetistas na construção de uma edificação. Segurança é não deixar acontecer e não ter de contornar a situação com processos de responsabilidade. Os materiais empregados, os processos construtivos, a organização do espaço e sua finalidade, a área urbana em que está inserido são características que devem ser levadas em conta com prioridade, pois têm impacto na severidade de um incêndio.

No Brasil, não há ampla divulgação de dados oficiais de casos de incêndio, o que restringe muito a discussão e a elaboração de políticas públicas para enfrentar o problema. Desde 2012, o Instituto Sprinkler do Brasil (ISB) monitora diariamente as notícias sobre os chamados “incêndios estruturais” no país (instalações industriais e comerciais, depósitos, bibliotecas, escolas, hospitais e hotéis, etc.). O ISB acredita que muitos desses sinistros poderiam ser evitados caso houvesse um sistema eficaz de segurança contra incêndio (ISB, 2022).

Um incêndio em um estabelecimento escolar pode ter consequências físicas devastadoras, além das possíveis consequências psicológicas nas pessoas envolvidas. O incêndio é uma das situações em que a capacidade individual de resposta adequada diminui em razão do pânico. Por isso, a prevenção e a proteção devem chegar ao nível máximo de exigência para que o incêndio não aconteça, mas, se acontecer, que não haja danos aos ocupantes do espaço. A segurança do espaço físico deve permitir, ainda que com todas precauções, a evacuação e o combate do incêndio sejam rápidos e eficientes.

As edificações que abrigam escolas são especialmente preocupantes, pois são frequentadas por crianças e adolescentes, que são mais vulneráveis devido à falta de conhecimento e experiência em situações de emergência, além de dependerem de adultos para orientação e assistência. Embora muitas escolas realizem treinamentos de evacuação com seus alunos, ainda há resistência por parte da maioria dos estabelecimentos de ensino no Brasil. É comum notícias de incêndios em escolas brasileiras, especialmente as públicas, que muitas vezes funcionam em edificações que, apesar de aparentemente bem construídas ou reformadas, apresentam

instalações perigosas, deterioradas e carecem de itens básicos de segurança, como extintores com carga dentro da validade, iluminação de emergência, sinalização e saídas de emergência.

Segundo dados do Instituto Sprinkler Brasil (ISB), o número de incêndios noticiados em 2022 representa apenas uma pequena fração da quantidade real de ocorrências. Foram contabilizadas 2.041 ocorrências de incêndios estruturais de janeiro a dezembro desse ano, sendo os estabelecimentos comerciais os mais afetados, seguidos por locais de reunião de público e depósitos. Esses números reforçam a necessidade de intensificar os esforços na prevenção e combate a incêndios, bem como na promoção da segurança em todas as edificações, especialmente aquelas frequentadas pelo público em geral.

Entre as principais causas de incêndios estruturais está a elaboração descuidada de projetos por economia ou desconhecimento da legislação, que se refere à obrigação da instalação do sistema de prevenção e combate a incêndio, mas não exige certificado de qualidade dos equipamentos. Em resumo, incêndios podem ocorrer principalmente nas situações a seguir: instalações com equipamentos que não obedecem às certificações de qualidade, uso de soluções improvisadas ou inadequadas, ausência de um projeto elétrico real, falta de manutenção dos equipamentos instalados, reutilização de condutores e terminais antigos, ligações excessivas e pontos sobrecarregados, dimensionamento inadequado da fiação, disjuntores e outros elementos, e edificações que não seguem normas básicas de segurança na rede elétrica.

A segurança contra incêndio (SCI) das edificações é um campo de estudo da engenharia que tem por objetivo limitar, a níveis aceitáveis, a probabilidade de morte, ferimento e perdas materiais em um incêndio. Deve ser considerada, principalmente, na fase de elaboração do projeto, quando são determinadas todas as medidas de segurança que uma área deve possuir e o local da instalação de todos os equipamentos, conforme suas características técnicas.

2. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE INCÊNDIOS

Seito et al. (2013) relatam que a primeira legislação sobre proteção contra incêndio foi o Decreto Municipal nº 10.878, de São Paulo, que institui normas especiais para a segurança dos edifícios a serem observados na elaboração e execução dos

projetos, bem como sobre equipamento e funcionamento, e dispõe ainda sobre sua aplicação em caráter prioritário. De acordo com Gerlack (2018), o primeiro laboratório de SCI do Brasil está localizado no Instituto de Pesquisas Técnicas (IPT) de São Paulo, cujas Instruções Técnicas servem de base para todo o país.

Internacionalmente, a SCI é reconhecida como uma ciência, com uma enorme atividade nessa área na Europa, nos Estados Unidos, no Japão e em franca evolução em outros países, como no Brasil. É uma tendência mundial exigir que todos os materiais, componentes, sistemas construtivos, equipamentos e utensílios usados nas edificações sejam analisados e testados em relação à SCI.

Alguns autores relatam que a legislação brasileira sobre segurança contra incêndio está sempre atrasada em relação à necessidade da sociedade. No Brasil, ainda há muita negligência nessa área, e quando a tragédia acontece, muitas vezes não é possível encontrar um culpado além de Deus. É preciso mudar certos pensamentos econômicos e irresponsáveis arraigados na sociedade. Quando se trata de vidas e fogo, não se pode contar com sorte. Muitos incêndios ocorridos no passado e nos dias atuais apontam para a falha de uma medida de proteção contra incêndio essencial: o gerenciamento, como no *Gran Circus* norte-americano em 1961 e no edifício *Andraus* em São Paulo, em 1972, um edifício com 31 pavimentos de escritórios e lojas, com estrutura de concreto armado e acabamento em pele de vidro. Acredita-se que o fogo tenha começado nos cartazes de publicidade das Casas Pirani, colocados sobre a marquise do prédio.

Em razão desses acidentes, pela semelhança e proximidade espacial e temporal, deu-se início ao processo de reformulação das medidas de segurança contra incêndios no país. Mesmo assim, outros grandes incêndios aconteceram, como no edifício Wilton Paes de Almeida, em maio de 2018, na cidade de São Paulo, e no Museu Nacional no Rio de Janeiro, em setembro do mesmo ano, que atingiu grande parte do acervo histórico do museu e destruiu parte dos 200 anos de história.

Em relação aos estabelecimentos de ensino, a situação é muito preocupante. A legislação dos Direitos Humanos exige que as escolas apresentem uma infraestrutura adequada e segura para abrigar os alunos, incluindo o projeto arquitetônico, as instalações elétricas, as hidrossanitárias e tecnológicas, acessibilidade, implantação, projeto de prevenção contra incêndio e preparo dos profissionais atuantes.

Conforme Brentano (2015, p.32):

A cultura de segurança das edificações está longe de ser uma exigência espontânea de quem projeta e constrói, salvo exceções, principalmente, nas grandes cidades do Brasil. Isso, muitas vezes, mais por exigências legais e de fiscalização, que são mais visíveis e próximas nestas cidades, do que por vontade própria do empreendedor.

O Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), no Censo de 2017, não cita o quantitativo de escolas que possuem adequado projeto de instalações de prevenção contra incêndio (DIAS, 2018). O Brasil não possui uma estimativa da quantidade de incêndios em instituições de ensino, mas sabe-se que os poucos números contabilizados têm uma situação assustadora. Avaliar o número de incêndios e o comportamento da comunidade escolar diante desse risco torna-se uma ferramenta efetiva de prevenção e proteção da vida e do patrimônio escolar.

Incêndios em escolas, por causas naturais ou criminosas, não são ocorrências incomuns e trazem perdas materiais e humanas. Diante da necessidade de reduzir os riscos de incêndio nas instituições de ensino, prevenindo perdas de vidas humanas, patrimônio e de continuidade do processo produtivo escolar, é necessário modificar o pensamento das pessoas no que tange à prevenção, para que também se responsabilizem e cuidem da escola de seu bairro. Isso deve ser visto como obrigação e um dever indeclinável de proteger vidas. Portanto, os meios e equipamentos que constituem o combate e prevenção de incêndio em edificações não devem ser negligenciados em razão de custos, uma vez que essa atitude pode ter consequências irreversíveis e irreparáveis.

3. COMPORTAMENTO HUMANO EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO

A análise e previsão do comportamento humano em situações de incêndio constituem um sistema complexo, envolvendo pessoas, edifícios, meios de segurança e o tipo de incêndio em questão. Apesar da crescente relevância do tema, os estudos nessa área são relativamente recentes e apenas nas últimas décadas têm recebido uma atenção sistemática.

Em grande parte das situações, as pessoas adotam comportamentos dentro dos padrões normais. No entanto, fenômenos como chamas, aumento de temperatura, fumaça e gases tóxicos podem desencadear instabilidade emocional, contribuindo para o que é denominado comportamento não adaptativo (VALENTIM,

2008). Bryan (2002) ainda observa que esforços excessivos motivados pelo medo, muitas vezes, dificultam a evacuação, gerando mais pânico e obstaculizando os esforços de resgate.

Segundo Groner (2001), o estudo do comportamento humano em incêndios demanda uma abordagem multidisciplinar, envolvendo conhecimentos em psicologia, ergonomia, medicina, entre outros. A compreensão dos aspectos cognitivos do comportamento humano em situações de incêndio ainda é desafiadora, sendo comparada a uma "caixa preta".

Conforme Frantzich (1998), risco é definido como:

A probabilidade de um evento indesejado ocorrer em circunstâncias específicas originadas pela ocorrência de um perigo especial. Risco de incêndio num cenário qualquer, pode ser definido como a combinação das probabilidades do início do incêndio e as suas consequências e, finalmente, risco de incêndio num projeto é a combinação das probabilidades e consequências de todos os eventos e cenários envolvidos nesse projeto.

Cordeiro (2010) identifica três aspectos que influenciam a reação humana diante do perigo: fatores individuais (idade, porte físico, estado de saúde), fatores relacionados ao fogo (temperatura, fluxo de calor, redução do oxigênio, exposição a gases) e fatores ligados aos sistemas de alarme (sistemas de alerta, notificação sonora, notificação pessoal e ruídos).

Arquitetos e engenheiros, ao projetarem edifícios, seguem normas e regulamentações para dimensionar espaços, estruturas e meios de escape, bem como sistemas de segurança contra incêndio. No entanto, o conhecimento sobre o comportamento humano ainda é limitado entre os projetistas (VALENTIM, 2018). É imprescindível considerar os fatores humanos para projetar meios de escape eficientes nos edifícios.

Gouveia (2017) destaca que muitos arquitetos não incorporam os diversos aspectos qualitativos de segurança contra incêndio em seu processo criativo, resultando em projetos que não priorizam a segurança desde a concepção. Essa lacuna na formação profissional reflete-se na falta de compreensão dos conceitos e princípios de segurança contra incêndios.

Segundo Ono (2002), a implementação de medidas efetivas de segurança em edifícios depende da conscientização e do conhecimento dos responsáveis e dos usuários. Atualmente, o sistema de segurança contra incêndios muitas vezes é

pensado apenas como uma solução técnica posterior ao projeto arquitetônico, o que pode não considerar adequadamente as características dos usuários da edificação e sua vulnerabilidade.

Nos últimos 30 anos, foram realizados estudos significativos para entender o envolvimento e a interação das pessoas com incêndios. A literatura destaca a idade como um fator crítico que afeta a dinâmica de evacuação, especialmente devido à capacidade cognitiva limitada das crianças, tornando-as um grupo vulnerável em situações de incêndio. Portanto, o estudo e modelagem da evacuação de emergência em edifícios escolares, que abrigam pessoas de diferentes faixas etárias, são de extrema importância para orientar a tomada de decisão e as ações de evacuação.

4. MÉTODOS

4.1 SIMULAÇÃO DE INCÊNDIO E EVACUAÇÃO EM AMBIENTE REAL

Foi realizada em uma sala de aula do CEFET-MG, com 34 estudantes. As situações testadas foram: sem treinamento e com aviso, com treinamento e com aviso. Mediu-se o tempo inicial e final de percurso de cada participante, da saída da sala de aula até o ponto de encontro (meeting point).

4.2 METODOLOGIA DA COLETA DE DADOS DE TEMPO DE ESCAPE

A coleta dos tempos de escape nas simulações de incêndio e evacuação considerou o momento de saída de cada indivíduo da sala de aula após o acionamento do alarme de incêndio e o tempo decorrido até a chegada ao ponto de encontro designado (meeting point). Cada participante utilizava uma tarja numerada na camiseta para facilitar o rastreamento dos dados após a simulação. O tempo individual percorrido pelos estudantes foi medido em todas as simulações: sem treinamento e com aviso, com treinamento e com aviso.

Esta abordagem metodológica visou gerar dados quantitativos e qualitativos robustos para subsidiar a revisão e o desenvolvimento de regulamentos específicos para a segurança contra incêndios em ambientes educacionais no Brasil.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

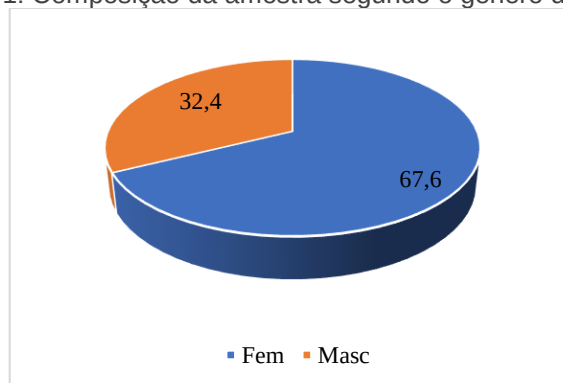
5.1 SIMULAÇÕES DE INCÊNDIO E EVACUAÇÃO

5.1.1 Caracterização da população de participantes de ensaios

As análises de simulações de incêndio e evacuação precisam obrigatoriamente considerar o perfil dos usuários da edificação. Desta forma, todas as análises foram feitas com participantes jovens entre 15 e 19 anos de idade. Os ensaios de escape foram conduzidos com 34 alunos do CEFET – Araxá, todos sem experiência anterior em situações de escape ou treinamento específico para esse fim. A idade média dos participantes foi de $17,5 \pm 1,45$ anos, com peso médio de $60,7 \pm 10,83$ kg e altura média de $1,70 \pm 0,09$ m. As Figuras 6 até 9 ilustram a composição da amostra, considerando os parâmetros de gênero declarado, idade, peso e altura. A participação nos ensaios foi voluntária e todos os alunos declararam estar em boas condições de saúde.

A distribuição da amostra de acordo com o gênero reflete a composição típica da população escolar no ensino médio brasileiro. Nesse caso, a parcela feminina foi mais que o dobro da masculina (Figura 10), sendo diferenciada apenas pelo hábito de usar cabelos longos. Dos participantes, 20 tinham cabelos curtos e 14 tinham cabelos longos. Embora os participantes não tenham sido instruídos a prender os cabelos antes do início do ensaio de escape, essa questão deve ser considerada nessas situações devido à inflamabilidade do cabelo humano. Todos os participantes estavam calçando tênis e usando calças compridas de brim.

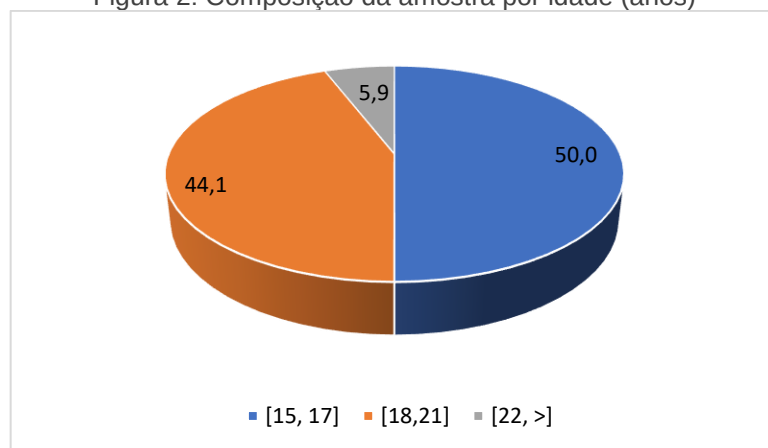
Figura 1: Composição da amostra segundo o gênero declarado



Fonte: Produzido pela autora a partir dos dados coletados em campo, 2023.

Os participantes dos ensaios eram predominantemente jovens (56% acima de 18 anos e 44% entre 18 e 15 anos), (Figura 7). Apenas um indivíduo tinha mais de 50 anos. A idade dos envolvidos em incêndios é um fator com grande influência em relação ao número de mortos e feridos¹, mas, na faixa etária de 15 a 24 anos, como é o caso dessa pesquisa, não se espera grande efeito ².

Figura 2: Composição da amostra por idade (anos)



Fonte: Produzido pela autora a partir dos dados coletados em campo, 2023

É de se esperar que a velocidade de escape seja afetada pela massa corporal dos indivíduos. Nenhum estudo brasileiro é conhecido sobre esse tema em particular. Em outros países, há pesquisas que associam o Índice de Massa Corporal – IMC à velocidade do caminhar³. Uma pesquisa estadunidense buscou associar o IMC ao risco de danos à saúde durante o trabalho de bombeiros.

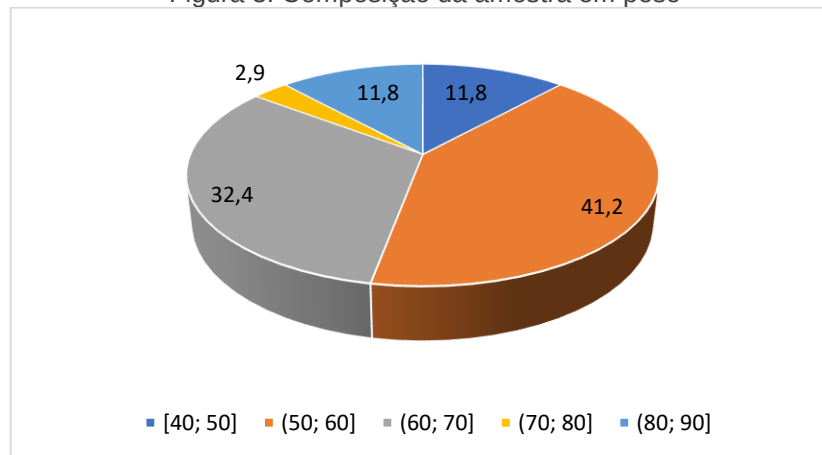
Neste estudo, a composição em faixas de massa corporal da população é mostrada nas Figuras 8 e 9. A Organização Mundial da Saúde – OMS classifica as faixas de IMC conforme a Tabela 1. Pela Figura 8, a população é predominantemente de peso normal ou de baixo peso, categorias em que se enquadram 91,2% dos participantes.

¹Household Fire Protection Practices in Relation to Socio-demographic Characteristics: Evidence from a Swedish National Survey. Finn Nilson; Carl Bonander. Fire Technology, 56, 1077–1098, 2020_ 2019 The Author(s) Manufactured in The United States <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00921-w>

²Jonsson A, Bonander C, Nilson F, Huss F (2017) The state of the residential fire fatality problem in Sweden: Epidemiology, risk factors, and event typologies. Journal of Safety Research. 62:89–100. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.06.008>.

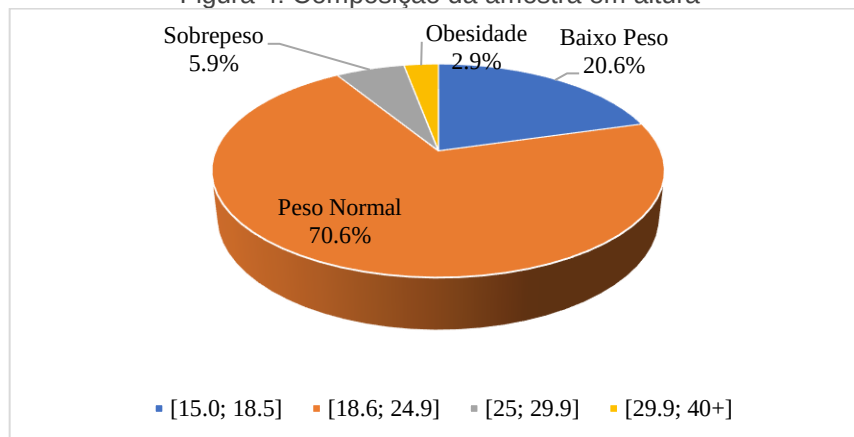
³Body Mass Index in Human Gait for Building Risk Assessment Using Graph Theory by Washington Velásquez, Manuel S. Alvarez-Alvarado, Andres Munoz-Arcenales, Sonsoles López-Pernas, Joaquín Salvachúa. Sensors 2020, 20(10), 2899; <https://doi.org/10.3390/s20102899>

Figura 3: Composição da amostra em peso



Fonte: Produzido pela autora a partir dos dados coletados em campo, 2023

Figura 4: Composição da amostra em altura



Fonte: Produzido pela autora a partir dos dados coletados em campo, 2023

Tabela 1: Classificação dos indivíduos de acordo com o IMC

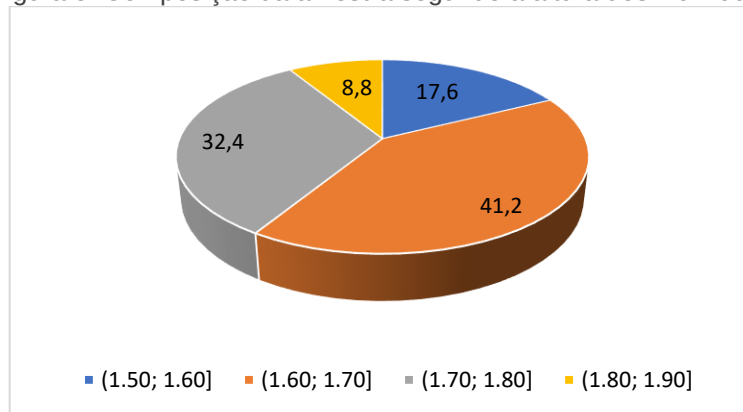
IMC	Classificação
Abaixo de 18,5	Baixo peso
Entre 18,6 e 24,9	Peso Normal
Entre 25 e 29,9	Sobrepeso
Entre 30 e 34,9	Obesidade grau I
Entre 35 e 39,9	Obesidade grau II
Acima de 40	Obesidade grau III

Fonte: <https://www.cefidi.com.br/indice-de-massa-corporal-imc/>

A altura dos indivíduos influencia na velocidade de escape, mas, geralmente, é considerada em alguns modelos de caminhada, pois a altura define o comprimento do

passo. Nessa pesquisa, a Figura 10 mostra a distribuição percentual dos indivíduos quanto à altura.

Figura 5: Composição da amostra segundo a altura dos indivíduos

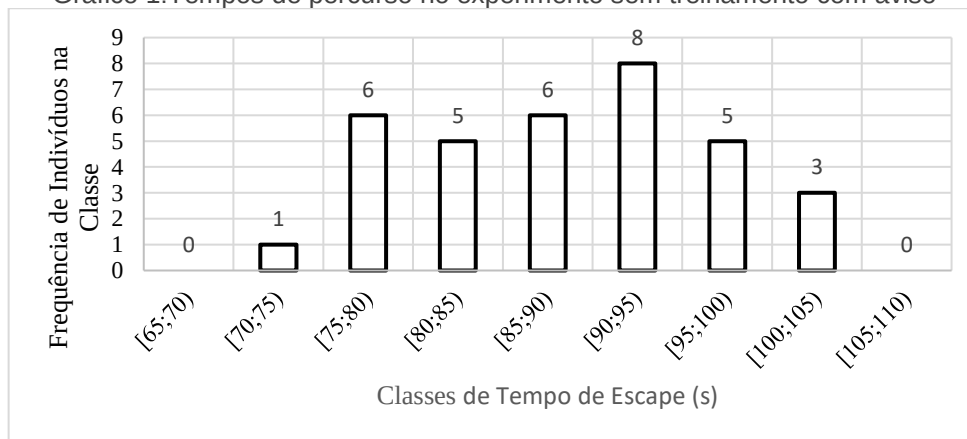


Fonte: A autora, 2023

5.1.2 Simulação sem Treinamento e com Aviso

Esse ensaio foi realizado utilizando a rota de escape de 152,37 m de extensão, definida no Projeto de Prevenção e Combate a incêndio da instituição, aprovada pelo Corpo de Bombeiros para o bloco de salas de aula (Gráfico 1).

Gráfico 1: Tempos de percurso no experimento sem treinamento com aviso



Fonte: Produzido pela autora a partir dos dados coletados em campo, 2023

O tempo médio de percurso da rota de escape foi 88,09 segundos e o desvio padrão foi de 8,50 segundos, sendo, portanto, a velocidade média de 1,73 m/s. O tempo médio de percurso dos indivíduos do sexo feminino foi de 88 segundos e o desvio padrão de 9,56 segundos. Os indivíduos do sexo masculino tiveram um tempo médio igual a 88,25 segundos, com um desvio padrão de 6,51 segundos. Como se

verifica, os tempos médios de percurso são praticamente iguais para ambos os gêneros, mas os indivíduos do sexo feminino apresentaram maior variabilidade em torno da média, pois o desvio padrão dos tempos medidos foi maior.

Buscando estabelecer uma relação entre a velocidade individual de escape observada e parâmetros característicos dos indivíduos e da rota de fuga, após diversas tentativas, observou-se que um parâmetro, que pode ser denominado “parâmetro A de escape individual”, demonstrou uma associação linear com índice de correlação $R^2 = 0.8805$ com a velocidade de percurso V (m/min) individual:

$$A_i = IMC_i * L / (k_i * k_o * T_i) \quad (1)$$

IMC_i é o índice de massa corporal de cada indivíduo (kg/m^2)

L é o comprimento da rota (m)

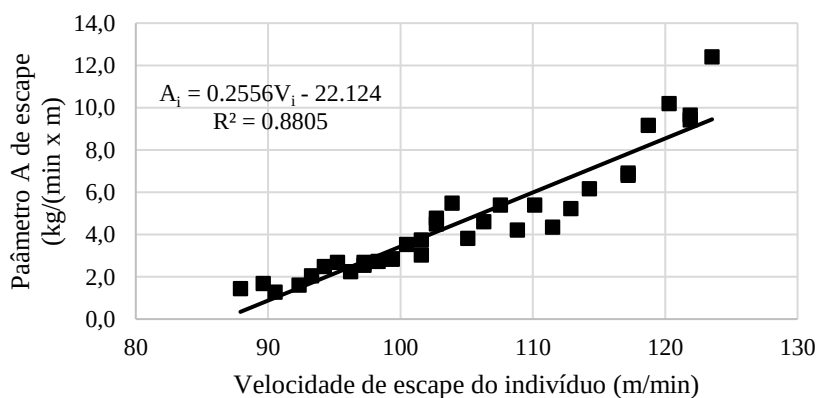
T_i (min) é o tempo de escape do indivíduo

k_i é uma constante numérica de escape individual que é da ordem da quinta potência do tempo individual de escape

k_o é uma constante característica da geometria da rota de fuga.

Tomando $k_o = 84$, mesmo valor utilizado por Nelson e MacLennan (1988), $L = 152,37$ m e as medidas dos tempos individuais de escape, obtém-se para o fator A de escape a função linear, $A_i = f(V_i)$, da curva do Gráfico 2. Observa-se que o parâmetro A de escape tem a dimensão de $kg/(min \times m)$, que corresponde ao fluxo de massa por unidade de comprimento da rota de fuga.

Gráfico 2: Associação linear entre a velocidade de percurso de indivíduos jovens, sem treinamento, com aviso, na rota de fuga - CEFET Araxá /MG



Fonte: Produzido pela autora a partir dos dados coletados em campo, 2023

Supondo válida a relação linear encontrada neste experimento para aplicação em projetos de segurança:

$$A_i = 0.2556V_i - 22.124 \quad (2)$$

pode-se avaliar a velocidade de escape mínima de uma população conhecida em uma rota de fuga de comprimento L e de geometria de acordo com a descrição de Nelson e MacLennan (1988), ou seja, $k_o = 84$ (para rota em nível) ou $k_o = 51.8 (G/R)^{0.5}$ para escadas, tomando-se o tempo de percurso individual e o índice de massa corporal representativo da população. Neste caso, pode-se tomar o tempo de percurso individual máximo igual a 1,73 min e o índice de massa corporal mínimo igual a 15 kg/m². Com isso, calcula-se $A_{min} = 1,05 \text{ kg}/(\text{min} \times \text{m})$, que corresponde à velocidade.

$$V_{min} = 3.912A_{min} + 86.557 = 90.67 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad (3)$$

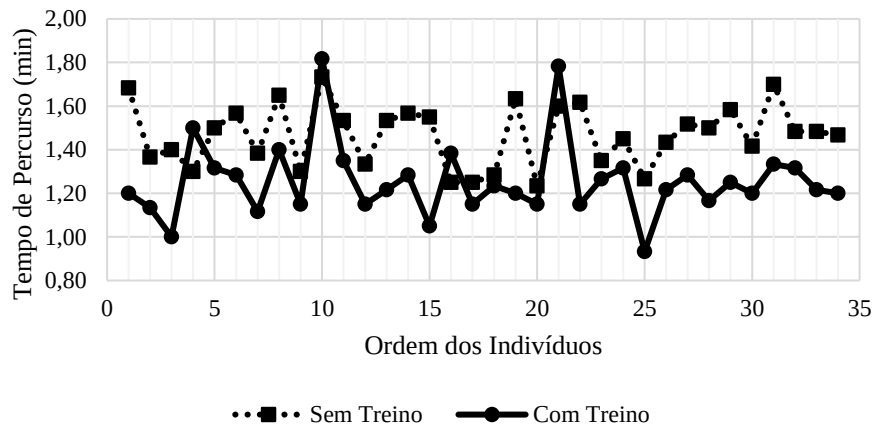
que é coerente com os valores mínimos medidos no experimento.

5.1.3 Simulação com Treinamento e com Aviso

Em face das restrições impostas pelas famílias dos indivíduos participantes, todos os ensaios de escape foram realizados com aviso. Utilizando a mesma rota de escape, foi realizado um ensaio de escape com os mesmos indivíduos que tiveram a experiência inicial descrita antes. Nesse caso, o Gráfico 3 compara os tempos de percurso individuais.

Observa-se que houve uma redução no tempo de percurso de quase todos os indivíduos com algumas exceções. O tempo médio de percurso sem treinamento foi de 1.47 ± 0.16 min enquanto com treinamento foi 1.26 ± 0.18 min, cerca de 14% menor. O impacto do treinamento fica evidente nesse caso com a redução significativa do tempo médio de percurso.

Gráfico 3: Comparação dos tempos de percurso com e sem treinamento

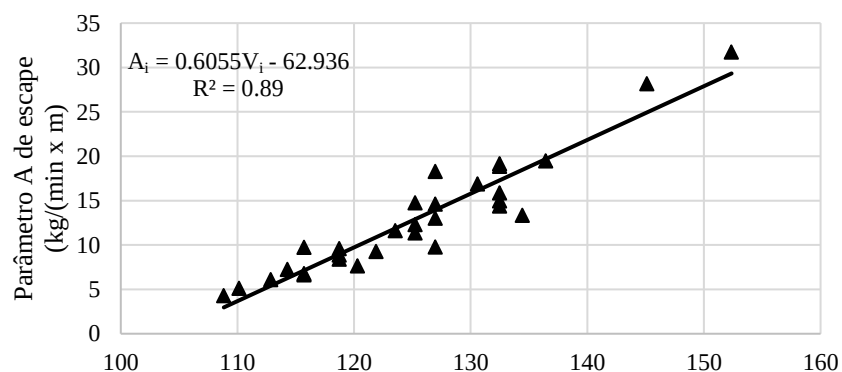


Fonte: Produzido pela autora a partir dos dados coletados em campo, 2023

Calculando-se a média do tempo de percurso com treinamento por gênero encontra-se que os indivíduos do sexo feminino tiveram um tempo médio de percurso igual a 1.27 ± 0.21 min e os do sexo masculino, igual a 1.23 ± 0.11 cerca de 4% menor.

Buscando uma relação da velocidade individual de percurso com o índice de Massa Corporal (IMC) dos indivíduos, o comprimento da rota de fuga e o tempo individual de percurso, obtém-se a associação linear mostrada no Gráfico 4. Observa-se que a correlação $R^2 = 0.89$ é da mesma ordem de grandeza da correlação entre esses parâmetros no experimento sem treinamento ($R^2 = 0.88$).

Gráfico 4: Associação linear entre a velocidade de percurso de indivíduos com treinamento com aviso e o “fator A de escape” na rota de fuga



Fonte: Produzido pela autora a partir dos dados coletados em campo, 2023

Analogamente ao que foi feito, a título de verificação da coerência da formulação apresentada, toma-se na Eq. (1) $k_o = 84$, $L = 152.37$ m e o tempo máximo de percurso observado igual a 1.4 min e obtém-se:

$$A_{min} = \frac{(15)(152.37)}{(1.4)^5(84)(1.4)} = 3.614 \quad (4)$$

A correlação linear de A_i e V_i , suposta verdadeira nesse experimento é

$$A_i = 0.6055V_i - 62.936 \quad (5)$$

da qual resulta

$$V_i = 1.652A_i + 103.941 \quad (6)$$

Então, para $A_{min} = 3.614 \text{ kg}/(m \times min)$, tem-se:

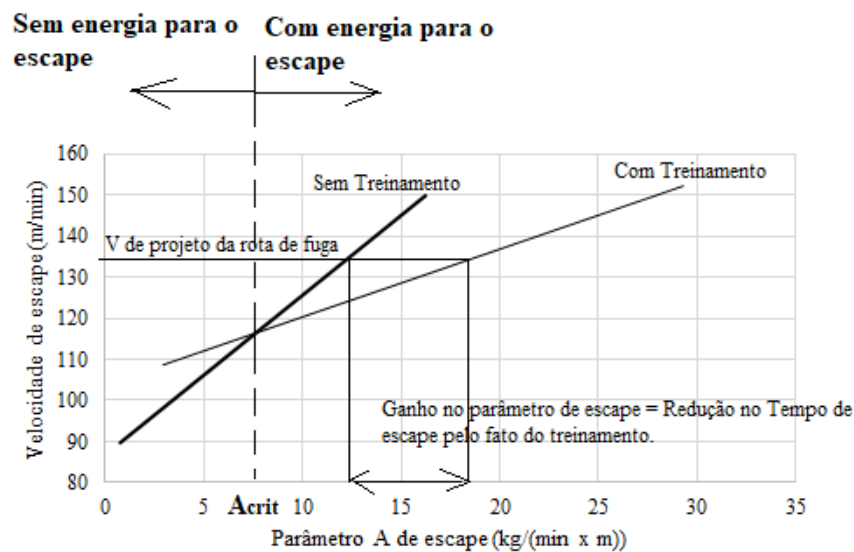
$$V_{min} = 1.652 \times 3.614 + 103.941 = 109.91 \text{ m/min} \quad (7)$$

valor esse que é coerente com os valores mínimos observados no experimento.

5.1.4 Efeito do Treinamento com Aviso

A medição do efeito do treinamento pode ser feita comparando-se os fatores A de escape, que incluem características da população e da rota, denominando A_i^{st} como o tempo individual para essa rota e essa população, para escape “sem treinamento”, e A_i^{ct} para escape “com treinamento”. As curvas do Gráfico 5 sugerem que:

Gráfico 5: Efeito do treinamento na velocidade de escape



Fonte: Produzido pela autora a partir dos dados coletados em campo, 2023

- Existe um valor crítico do parâmetro A de escape (A_{crit} , para certa rota e certa população) abaixo do qual os indivíduos treinados desenvolvem velocidade de escape menor que os indivíduos sem treinamento. Essa situação evidencia que a população não destinou um nível de energia suficiente para o fluxo de escape, o que corresponde a um nível baixo de pânico combinado ao excesso de confiança na própria habilidade.
- Acima de A_{crit} , para desenvolver uma velocidade de escape, a população sem treinamento teve um parâmetro A de escape menor, que correspondeu a um tempo médio de escape maior.

6. CONCLUSÕES

A pesquisa teve como objetivo destacar a importância das simulações de evacuação de incêndio em instituições de ensino como uma medida preventiva crucial. O propósito é garantir que todos os ocupantes de um edifício estejam devidamente preparados para agir de maneira correta e segura diante de uma situação de emergência. As simulações de incêndio e evacuação na elaboração de projetos arquitetônicos, aliadas à competência de profissionais especializados em Segurança Contra Incêndios (SCI), mostraram-se uma estratégia eficaz para mitigar

transtornos psicológicos e evitar o pânico entre os usuários, ao mesmo tempo em que reduzem os danos materiais na edificação e otimizam os projetos arquitetônicos.

Diversas variáveis foram analisadas, incluindo o tempo necessário para que o fogo atinja altas temperaturas, a carga de calor suportada pelos materiais constituintes da edificação, a velocidade de deslocamento dos usuários, o tempo de resposta ao alarme de incêndio, a densidade e o comportamento dos usuários. Esses fatores foram comparados com dados já existentes. Essa análise minuciosa proporcionou uma base sólida para as conclusões obtidas.

As simulações permitiram esclarecer que o projeto arquitetônico, a tipologia dos materiais constituintes da edificação (mais inflamáveis ou não) e o perfil dos usuários (jovens, pessoas com dificuldades de locomoção, idosos, crianças) influenciam significativamente o tempo de queima da edificação e o tempo de evacuação dos usuários. As simulações físicas de incêndio e evacuação na faixa etária entre 15 e 19 anos apresentaram um tempo médio de evacuação de $1,47 \pm 0,16$ minutos sem treinamento, enquanto com treinamento o tempo médio foi de $1,26 \pm 0,18$ minutos, uma redução de aproximadamente 14%.

Observou-se que o treinamento é crucial para a redução do tempo médio de evacuação. Outras faixas etárias de usuários, devido à mobilidade reduzida e maior tempo de evacuação, devem ser analisadas para orientar projetos arquitetônicos e a escolha assertiva de materiais de acordo com o uso e perfil do usuário.

Podemos concluir que as simulações de incêndio e evacuação são importantes aliadas na promoção da segurança contra incêndios em edifícios, prevenindo e minimizando possíveis danos. Além disso, em situações de emergência, mostraram-se fundamentais para preparar os participantes, principalmente para agir de maneira organizada, evitando tumultos e pânico.

A incorporação de dados provenientes das simulações de incêndio e evacuação, integradas ao processo de concepção de projetos, irá aprimorar a arquitetura dos espaços e reduzir os danos em caso de sinistro. Esta pesquisa representa uma contribuição significativa para o avanço no desenvolvimento e na concepção de projetos integrados, em conformidade com os princípios da SCI, resultando em ambientes mais seguros e preparados para lidar com situações adversas.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Assistência à Saúde. Série Saúde & Tecnologia. Textos de Apoio à Programação Física dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde -Condições de Segurança contra Incêndio. Brasília, 1995.
- BRENTANO, Telmo. A Proteção contra incêndio no Projeto de Edificações. 3. ed. Porto Alegre: 2015.
- BRYAN, J. L. Behavioral response to fire and smoke. In. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 3rd Edition, Society of Fire Protection Engineers. Bethesda, MD, Section 3, Chapter 12. 2002.
- CORDEIRO, E. Modelação do comportamento das pessoas em caso de incêndio. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 2010.
- DIAS, Thais P. P. Prevenção contra incêndio em instituição de ensino básico: estudo de caso. Monografia (Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho). Universidade do Sul de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.
- FRANTZICH, H. Uncertainty and Risk Analysis in Fire. Safety Engineering. Lund University, 1998.
- GERLACK, M. O. Análise de Risco de Incêndio: Estudo Aplicado a Escolas de Porto Alegre. Trabalho de Diplomação, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
- GOUVEIA, A. M. Claret de. Introdução à Engenharia de Incêndio - para estudantes, arquitetos, engenheiros, administradores e bombeiros. Belo Horizonte: 3i editora, 2017.230p.
- GRONER, N. E. Intentional systems representations are useful alternatives to physical systems representations of fire – related human behavior. Safety Science, 2001. v.38, p. 85-94.
- INSTITUTO SPRINKLER DO BRASIL (ISB). Estatísticas 2021. Disponível em <http://www.sprinklerbrasil.org.br> Acesso em março de 2022.
- ONO, R. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113. 2002.
- SEITO, Alexandre I.; GILL, Alfonso A.; ONO, Rosária; PANNONI, Fábio D.; SILVA, Sílvia B.; DEL CARLO, Ualfrido; SILVA, Valdir P. A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008.
- VALENTIN, M. V. Saídas de emergência em edifícios escolares. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2008.
- _____. Comportamento de crianças em movimento em escadas: Subsídios para o dimensionamento dos meios de escape em escolas. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2018.