

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**NÍVEL MESTRADO**

**GUSTAVO LUIS PRAGER**

**MÉTODOS INOVADORES DE GERENCIAMENTO DA SEGURANÇA CONTRA  
INCÊNDIO ALIADA A TECNOLOGIA INTEGRADA AO BIM**

**São Leopoldo**

**2022**

GUSTAVO LUIS PRAGER

MÉTODOS INOVADORES DE GERENCIAMENTO DA SEGURANÇA CONTRA  
INCÊNDIO ALIADA A TECNOLOGIA INTEGRADA AO BIM

Projeto de Defesa apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Profº Dr. Bernardo Fonseca Tutikian

São Leopoldo

2022

P898m Prager, Gustavo Luis.

Métodos inovadores de gerenciamento da segurança contra incêndio aliada a tecnologia integrada ao BIM / por Gustavo Luis Prager. – 2022.  
127 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Leopoldo, RS, 2022.  
“Orientador: Dr. Bernardo Fonseca Tutikian”.

1. Evacuação. 2. Modelagem de informação da construção (BIM). 3. Prevenção de incêndios. 4. Edifícios. 5. Gerenciamento. I. Título.

CDU: 721:699.81

GUSTAVO LUIS PRAGER

**MÉTODOS INOVADORES DE GERENCIAMENTO DA SEGURANÇA CONTRA  
INCÊNDIO ALIADA A TECNOLOGIA INTEGRADA AO BIM**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em (dia) (mês) (ano)

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Hinoel Zamis Ehrenbring – UNIFTEC

---

Prof. Dr. Julian Grub – UNISINOS

## RESUMO

Os mais recentes recursos da engenharia e arquitetura trouxeram conceitos para o crescimento vertical das cidades, todavia surgem preocupações de segurança que demandam novos entendimentos da gestão e gerenciamento de riscos na concepção dos projetos e ocupação da edificação. Com intuito de garantir a saída dos usuários em edifícios de múltiplos pavimentos, se desenvolve a necessidade da melhor compreensão da evacuação em uma situação de emergência. Esta carência, relacionada aos comportamentos dos usuários, as informações presentes no ambiente e sua respectiva interação, em conjunto com o refinamento das maneiras que as informações são expressadas na edificação. Aliado a esta questão, se utiliza os métodos inovadores de Gerenciamento da segurança contra incêndio com a utilização da tecnologia integrada ao BIM, possibilitando a visualização realística dos projetos, associada aos dispositivos de leitura de informações em tempo real por meio de comunicação em WSN, GSM, IoT e RFID, em conjunto com a evolução dos métodos de simulações em Realidade Virtual e Realidade Aumentada. A utilização destas tecnologias, proporciona subsídios que podem auxiliar na prevenção de grandes incêndios e na evacuação em edifícios elevados, com o propósito de fornecer informações ambientais, possibilitando a gestão com eficiência em uma situação de emergência. Para tal, se concebeu o estudo, contemplando os conceitos de gestão da segurança contra incêndio, tendências tecnológicas de dispositivos interativos, mecanismos da eficiência na evacuação, gerenciamento de risco, com suas principais sugestões e subsídios. Finalizando com a perspectivas das principais lacunas referente aos comportamentos dos usuários, explanando as evidências consideráveis que demonstram que as implicações na evacuação são amplamente moldadas as questões arquitetônicas e informações fornecidas nas situações de emergência. Propondo um método de gerenciamento de segurança contra incêndio, com a utilização de dispositivos de leitura em tempo real, gerenciado por uma rede central, responsável pela comunicação com o batalhão dos bombeiros e auxílio na evacuação dos usuários da edificação.

**Palavras-chave:** Evacuação; BIM; Prevenção; Edifícios; Gerenciamento.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Incêndio no (a) edifício Joelma; (b) Fachada de pele de vidro do edifício Wilton Paes de Almeida .....	15
Figura 2 – Incêndio na <i>Greenfell Tower</i> .....	16
Figura 3 – Integração de projetos com a tecnologia BIM .....	17
Figura 4 – Exemplificação do efeito da compartimentação .....	25
Figura 5 - Relação entre curva de um incêndio real e curva padrão de incêndio.....	27
Figura 6 - Exemplos de mudanças na temperatura, oxigênio e alguns produtos tóxicos durante um incêndio em um pequeno espaço compartimentado .....	28
Figura 7 – Mecanismo de transferência de calor por radiação.....	29
Figura 8 - Mecanismo de transferência de calor por condução.....	30
Figura 9 - Mecanismo de transferência de calor por convecção .....	31
Figura 10 – Exemplo da falta de compartimentação no edifício Wilton Paes de Almeida no Largo do Paiçandu, São Paulo.....	32
Figura 11 - Possibilidade de propagação do fogo através da fachada do edifício.....	35
Figura 12 - Formas de propagação do fogo conforme o tipo do sistema que compõe a fachada da edificação .....	36
Figura 13 – Intensidade da chamas nas aberturas da fachada de acordo com a mudança do fluxo de ar .....	38
Figura 14 - Biblioteca Central de Seattle.....	40
Figura 15 - Configuração espacial da Biblioteca Central de Seattle.....	41
Figura 16 – Simulação da propagação das chamas no FDS. ....	44
Figura 17 – Modelagem de usuários .....	45
Figura 18 – Central de alarme e detecção de incêndio com interoperabilidade inteligente.....	48
Figura 19 - Incêndio no prédio Lacrosse .....	49
Figura 20 - Detecção da densidade do fluxo de passageiros (a) entrada das escadas rolantes nível 1; (b) entrada do saguão nível 2. ....	52
Figura 21 – Dispositivos integrados a central de alarme.....	53
Figura 22 - Verticalização das Edificações no Brasil.....	54
Figura 23 – Traçado com análise de rota mais segura .....	56
Figura 24 - Alterações de nível vertical: interações para uso de escadas e escadas rolantes Escadas rolantes .....	57

Figura 25 – Comparação de navegação entre a Realidade Virtual e ambiente real	.58
Figura 26 – Indicação de emergência fixa da posição em K para (a) saídas de emergência em B e (b) Bloqueio da saída em B	.....60
Figura 27 - Rede das principais áreas de investigação na área da segurança na construção e BIM	.....61
Figura 28 - Demonstração da navegação em um modelo de Realidade Virtual	.....66
Figura 29 – Comparação dos espaços internos com a transparência das paredes	..69
Figura 30 – Três cenários de arquitetura sendo (a) tipologia convencional de referencia, (b) com variação para vidro no fechamento das caixas de escadas e (c) com aplicação de átrios	.....71
Figura 31 – Rotas dos participantes humanos amostrados no experimento de RV, com estimativa de densidade (a) tipologia convencional de referencia, (b) com aplicação de átrios e (c) com vidro no fechamento das caixas de escadas e	.....72
Figura 32 - Layout com instalações para o gerenciamento de emergência do incêndio	.....74
Figura 33 - Estrutura de modelagem inteligente baseada em IoT de residência inteligente para a prevenção de incêndio	.....77
Figura 34 – Método para otimização de rotas conforme diferentes decisões de comportamento	.....79
Figura 35 - Sistema de gerenciamento de emergências contra incêndio	.....80
Figura 36 - Estrutura para o sistema de visualização e alerta baseado em BIM	.....81
Figura 37 – Proposta sistemática para a sinalização de emergência interativa	.....82
Figura 38 - Resumo do plano experimental proposto	.....85
Figura 39 – Definição dos processos de evacuação	.....87
Figura 40 - Uma visão geral do número de estudos que caracterizam diferentes tipos de comportamento de pedestres	.....88
Figura 41 - Resumo das soluções de contagem de pessoas para controle de evacuação de incêndio	.....89
Figura 42 - Uma captura de tela da visualização do participante durante o experimento, mostrando a tarefa atual	.....92
Figura 43 – Sistema proposto aliado à RV (a) A visão em primeira pessoa do bombeiro no ambiente virtual com visibilidade limitada (b) Perspectiva da trajetória de caminhada do bombeiro em linhas amarelas	.....94
Figura 44 – Projeção do aumento de fumaça em relação ao sistema de detecção	.97

Figura 45 – Exemplo da *Torre Grenfell* com saída bloqueada ..... 100

Figura 46 – Preposição de gerenciamento de segurança contra incêndio ..... 103



## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBM	Corpo de Bombeiros Militar
FIB	Federation Internationale du Beton
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
TRF	Tempo de Resistência ao fogo
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo
SCI	Segurança Contra Incêndio
MJ	Megajoules
ASTM	American Society for Testing and Materials
NFPA	National Fire Protection Association
ETICS	External Thermal Insulation Composite System
CTIF	Associação Internacional de Serviços de Incêndio e Resgate
EN	Norma Européia
FDS	Fire Dynamic Simulation
CBPMESP	Corpo de Bombeiros Militar do Estado de São Paulo
IT	Instrução Técnica
CFS	Centro de Estatísticas de Incêndio
cm	Centímetros
mm	Milímetros
m	Metros
BBC	British Broadcasting Corporation
°C	Graus Celsius
W/m <sup>2</sup> K	Coeficiente de transferência térmica
WSN	redes de sensores sem fio (WSNs),
TI	Tecnologia da Informação
IoT	Internet das coisas
BIM	Modelagem de Informação da Construção
RV	Realidade Virtual
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
IFC	Industry Foundation Classes

RF	Radiofrequência
RFID	Identificação por radiofrequência
GSM	Global System for Mobile Communications
WI-FI	Wireless Fidelity - Fidelidade sem Fio
GIS	Sistema de informação geográfica
WLAN	Wireless Local Area Network

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Tema .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Delimitação do Tema .....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Problematização .....</b>	<b>19</b>
<b>1.4 Objetivos .....</b>	<b>20</b>
1.4.1 Objetivo Geral .....	20
1.4.2 Objetivos Específicos .....	20
<b>1.5. Justificativa .....</b>	<b>20</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 Dinâmica do incêndio e bases da segurança contra incêndio.....</b>	<b>23</b>
2.1.1 Segurança contra incêndio.....	23
2.1.2 Desenvolvimento do incêndio.....	26
2.1.3 Meios de propagação do calor .....	29
2.1.4 Fatores importantes no entendimento da propagação do incêndio.....	31
<b>2.2 Segurança contra incêndio nas edificações .....</b>	<b>38</b>
2.2.1 Modernização aliada a segurança.....	43
2.2.2 Detecção e Alarme de incêndio.....	47
2.2.3 Saídas de emergência.....	53
<b>2.3 Conceito do BIM aliado a segurança contra incêndio .....</b>	<b>60</b>
2.3.1 Evacuação dos edifícios.....	63
2.3.2 Fatores cognitivos para evacuação .....	64
2.3.3 Realidade virtual aliada a evacuação dos edifícios .....	65
2.3.4 Resolução de métodos aliados a evacuação dos edifícios .....	67
2.3.5 Métodos com Integração da tecnologia de detecção e evacuação .....	73
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>83</b>
<b>3.1 Resumo das etapas experimentais.....</b>	<b>84</b>
<b>4 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>86</b>
<b>4.1 Desenvolvimento de contribuições .....</b>	<b>86</b>
<b>4.2 Aplicabilidade da Realidade Virtual para Evacuação.....</b>	<b>90</b>
<b>4.3 Análise dos métodos de detecção e alarme de incêndio .....</b>	<b>95</b>
<b>4.4 Viabilidade dos métodos de orientação .....</b>	<b>98</b>
<b>4.5 Renovação do método de auxílio aos bombeiros .....</b>	<b>101</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>105</b>

**REFERÊNCIAS.....108**

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Tema

Infelizmente ocorreram grandes incêndios na história da humanidade, e, em muitos casos, houve grandes destruições, a exemplo dos sinistros registrados da Boate Kiss (G1, 2013), *Torre Grenfell* em Londres (BBC, 2017), edifício Wilton Paes de Almeida (BBC, 2018), *Torre Torch* em Dubai (VEJA, 2017). Conciliado com o marco da vigência da Norma de Desempenho, a NBR 15575 (ABNT, 2013) e a Lei Federal 13.425 (BRASIL, 2017) despertou sobre a necessidade de discussão sobre segurança contra incêndio em edificações, com o intuito de proteger a sociedade brasileira dos danos causados por esse tipo de tragédia.

Dentre os requisitos exigidos, abordam dispositivos de segurança contra incêndio e considerações sobre os materiais de revestimento e acabamento e elementos que promovem a compartimentação, com enfoque no cumprimento de critérios mínimos, visando a redução de impactos, seja ela na extração de matéria prima, fase de construção, durabilidade, uso e ocupação (MEHTA; MONTEIRO, 2014; BOLINA *et al.*, 2015).

Um edifício é caracterizado como seguro contra incêndio quando, no caso de um sinistro, todos os ocupantes tenham uma alta probabilidade de sobreviverem à ação do fogo, possibilitando a evacuação com segurança dos ocupantes, além da capacidade de resistir estruturalmente (SILVA, 2013). Esta competência é destacada como a propriedade do elemento construtivo em resistir a ação do fogo, mantendo a sua integridade, segurança estrutural, estanqueidade a chamas e gases quentes e isolamento térmico (ABNT NBR 14432, 2001; ONO, 2007; FRANSSSEN *et al.*, 2009; SILVA, 2013).

Considerando as tecnologias facilitadoras para a construção civil, a segurança de um ambiente pode ser previamente projetada, possuindo maiores domínios conciliando com técnicas para melhorar o planejamento das rotas e saída de emergências e dos sistemas estruturais (LUJAK & OSSOWSKI, 2017; XIE *et al.*, 2018). Entretanto, as vezes a tecnologia disponível pode não ser utilizada na fase de projeto, ou em construções existentes, como forma de complemento de análise, ou para que seja cumprido as exigências mínimas atuais.

Os edifícios existentes, normalmente, são mais vulneráveis à incidência de incêndio, devido à dificuldade de conciliar as medidas de proteção contra incêndio atuais e questões relacionadas ao projeto arquitetônico da época das suas construções (ROSSI, 2003). Ainda, há a contribuição da ocorrência do incêndio motivado pela falta de intervenções na edificação com propósito de melhoramento, quanto às instalações elétricas, instalações de gás, entre outras (PISSARRA, 2014).

Um discernimento da cultura de prevenção contra incêndio precisa ser modernizado para que produza maiores efeitos nas realizações de projetos e situações de sinistros, além dos debates superficiais momentâneos, sendo esquecidos posteriormente.

Segundo Akram *et al.*, (2019) ações lamentáveis de gestão de segurança estão difamando o setor de construção, sendo preocupando o descumprimento de regras e regulamentações prescritas pelas legislações para melhoria da segurança. Expressado pelo autor, pela falta de disponibilidade das informações, assim como a integração dos principais projetos com outras disciplinas.

Os grandes sinistros exemplificam e fomentam a importância da segurança contra incêndio (SCI), considerados como o marco das legislações e normas técnicas nacionais, agregando requisitos como resistência ao fogo das estruturas, sensores de detecção de fumaça, sistemas de alarmes, compartimentação vertical e horizontal, entre outros (GILL e SILVA, 2011). A segurança dos edifícios teve agravamento devido a propagação do fogo, em alguns casos sem a devida compartimentação e isolamento de risco, a exemplo do Edifício Joelma (Figura 1), sem as distâncias adequadas entre as aberturas das fachadas (NEWS, 2016) e o Wilton Paes de Almeida sem compartimentação vertical na fachada e nos ambientes internos (BBC, 2018).

Figura 1 – Incêndio no (a) edifício Joelma; (b) Fachada de pele de vidro do edifício Wilton Paes de Almeida



Fonte: News (2016); BBC (2018).

O Museu Nacional do Brasil também foi vítima das chamas, onde possuía um grande acervo, com mais de 200 anos, onde 20 milhões de peças foram consumidas pelas chamas, sendo grande parte delas combustíveis, ocasionando estragos incalculáveis a economia social, história e cultura (Notícias sobre *Phoenix New Media*, 2018).

Compreendendo a propagação das chamas, por meios externos para outros ambientes adjacentes, devido a presença de materiais combustíveis, existem vários exemplos como o sinistro da *Torre Torch* (Dubai, em 2015 e 2017), *Lacrosse Tower* (Melbourne, 2014), *Mermoz Tower* (Roubaix França, 2012), *Al Tayer Tower* (Sharjah, 2012) (ANDERSON; MCNAMEE, 2018).

Outro exemplo é a *Torre Grenfell* (Figura 2) que havia afastamentos entre aberturas, entretanto contava com material altamente combustível no revestimento da fachada, proporcionando a propagação das chamas ao longo da linha periférica da edificação, comprometendo as saídas de emergência devido à presença e fumaça, além da sua toxicidade (BBC, 2018; FANG *et al.*, 2021).

Figura 2 – Incêndio na *Greenfell Tower*

Fonte: Adaptado pelo autor de BBC (2018).

Além da utilização de materiais inerentes às questões da excitação por calor, podem ser agravadas pelas questões físicas em que são inseridas e expostas frente ao ambiente. A exemplo do caso *The Television Cultural Centre* em 2009, no ano novo Chinês, que contou com fogos de artifícios, provocando um incêndio iniciado pela cobertura através de materiais de isolamento que se propagou rapidamente com a junção de rajadas de vento, comum na situação de edifícios altos, conciliado com material altamente inflamável, provocando a propagação das chamas em questão de minutos por toda a torre do edifício (CCTV, 2009).

Em uma situação semelhante na China, em 2010, com materiais de isolamento altamente inflamáveis e bom acesso a circulação de ar, sendo que neste edifício contava com o acionamento de chuveiros automáticos, do 1º ao 4º andar, mesmo assim foram ineficazes no controle da propagação do fogo nas paredes externas (PENG *et al.*, 2013), remanescendo outro alerta voltado aos projetos e requisitos normativos.

Estes incidentes expõe as diversas lacunas e os ensejos que as normas permitem na projeção da segurança contra incêndio nos edifícios, sendo possível perceber a importância e seriedade que este assunto requer frente a gestão dos riscos na evacuação dos usuários, principalmente em edificações com altura expressiva.



Os mais recentes recursos arquitetônicos com a utilização de sistemas inovadores trouxeram conceitos modernos de embelezamentos dos edifícios, contudo surgem preocupações que demandam novos entendimentos na fase dos projetos por parte, fabricantes, bombeiros, pesquisadores e engenheiros (CRAM; LU; MAO, 2016). Portanto, com o intuito de executar com eficiência a análise e o projeto com formas desafiadoras, é essencial o entendimento e aproveitamento dos diferentes modelos de ambientes e como podem ser integrados com várias técnicas de compatibilidade (LAUFS E VILKNER 2010).

Uma das evoluções recentes e promissoras é a utilização do BIM aliado as questões da segurança contra incêndio, tanto na fase de projeto como na gestão da vida útil da edificação. Essa, possibilita uma imensurável visualização realística, se tornado uma das características mais promissoras do BIM (Figura 3), ao mesmo tempo que ocorre evolução da detecção de perigos, sendo expressivos avanços na segurança da construção (AKRAM *et al.*, 2019).

Figura 3 – Integração de projetos com a tecnologia BIM



Fonte: Gonçalves Jr., 2020.

Uma das questões críticas e recentes preocupações é como determinar a localização de uma fonte de incêndio, com o propósito de fornecer orientações

precisas para o combate ao incêndio, especialmente em edifícios de grande porte. Bem como, em um segundo momento fornecer informações aos usuários para a rápida evacuação (YING, 2016; WUHAN, 2017).

Com a carência de um modelo de simulação que conjecture a capacidade cognitiva em relação a questões arquitetônicas pela busca de caminhos, de tal forma que as pessoas se orientam em um espaço físico e se deslocam de um lugar para outro, os projetistas arquitetônicos não conseguem prever as maneiras pelas quais suas decisões de projeto podem resultar em um comportamento pela busca de rotas abaixo do ideal (MORAD *et al.*, 2022).

As literaturas de pesquisa mais recentes destacam a necessidade de estudar os fenômenos por meio de testes experimentais e análises de projetos aprofundadas, para possibilitar regularização técnica de sistemas construtivos (LALU, 2016). Ainda existe uma forte tendência de modelos baseados no mecanismo do BIM que podem fazer a verificação do cumprimento das exigências, como forma automatizada durante o projeto (SANTOS *et al.*, 2017; ANDRADE e SILVA, 2017; SOLIMAN JUNIOR, 2018; SILVA JUNIOR; MITIDIÈRE FILHO, 2018).

De acordo com Feng *et al.*, (2022) ainda permanecem inúmeras lacunas quanto a pesquisa sobre a compreensão do comportamento de orientação dos usuários dentro da edificação, agravados pelos edifícios de inúmeros andares, e representação do mundo real, como os movimentos naturais e situações de decisão.

Um planejamento de projeto para a evacuação eficaz em edifícios densamente ocupados deve ser expressamente idealizado, principalmente pelo número de fatalidades e o nível de perda de propriedade, bem como se deter somente ao estudo do desempenho da evacuação sob um prédio em chamas (TURKAN & SUN, 2020).

Em uma situação de incêndio a generalização do pânico nas pessoas, não está relacionada somente com a densidade da multidão e a conformidade, mas também ao conhecimento prévio das pessoas sobre evacuação de incêndio (LIU, 2017). Aliado aos conhecimentos efetivos, a simulação virtual tornou-se uma ferramenta significativa da aplicação computacional agregando estados físicos e psicológicos, relações sociais, entre outras considerações, para traçar modelo de inteligência artificial (SONG, 2016).

Por essas questões, as ferramentas computacionais tendem ser um caminho para a concretização de um plano eficaz e a verificação da aplicabilidade dos

critérios normativos, bem como impedir que tenhamos a necessidade de tragédias para que ocorra novas exigências em regulamentações e normativas (CHOW, 2005; ARAÚJO, 2008; NEGRISOLO, 2011).

Outro fator aliado ao conceito de construção inteligente é o monitoramento da edificação agregado às novas tecnologias, sendo uma das abordagens promissoras, possibilitando o acompanhamento contínuo dos equipamentos de combate ao incêndio. Esse conceito explana a transição das intervenções corretivas para preventivas, visto que a falha dos elementos de construção pode ser prevista pela manutenção preventiva através de uma combinação de dados sobre a condição atual e históricos de manutenções, aumentando a eficiência, confiabilidade e segurança (GUNAY *et al.*, 2019).

Para tal, com a finalidade de agregar os estudos da segurança contra incêndio em edifícios, será realizada uma revisão bibliográfica contemplando os conceitos ligados a integração do BIM ao gerenciamento da segurança contra incêndio, analisando as tendências aliadas a evacuação, juntamente com as principais tecnologias, implicações e subsídios às normas nacionais.

## **1.2 Delimitação do Tema**

A principal limitação da pesquisa abordada é a grandiosa gama de estudos que envolve o projeto de uma edificação de grande patamar, principalmente no critério da segurança contra incêndio. Ainda que citados diversos estudos, existe evidências reais sobre a necessidade da elaboração e atualização das regulamentações técnicas brasileira.

## **1.3 Problematização**

A indagação da referida pesquisa envolve questões sobre a complexa tarefa em garantir a saída das pessoas nos arranha-céus, verificando as medidas projetuais de detecção e evacuação que envolve tal questão, as quais necessitam de uma profunda análise de modernização. Esta questão é indagada pela necessidade de conhecer o desempenho dos edifícios com alturas elevadas e se as medidas existentes, pela falta de exemplares e estudos, estão sendo atribuídas como medidas adequadas.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo Geral

O seguinte trabalho tem a finalidade de apresentar uma revisão bibliográfica sistemática analisando os critérios voltados as tendências na elaboração de um projeto de segurança contra incêndio aliado ao BIM, apresentando os potenciais critérios da evacuação que envolve uma construção aliada ao gerenciamento da segurança contra incêndio.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- a. Analise dos critérios e riscos da segurança contra incêndio dos edifícios de acordo com as técnicas atuais;
- b. Explanar considerações inovadoras dos métodos de monitoramento em edificações com altura elevada quanto aos critérios da evacuação;
- c. Analise das questões norteadas a percepção da emergência para a concretização de uma evacuação mais eficiente;
- d. Propor metodologia e embasamento para sistemas de gerenciamento de segurança contra incêndio;

## 1.5. Justificativa

As leis e regulamentações técnicas que consideram a segurança contra incêndio foram concebidas ao longo dos últimos anos, na sua maior parte, após a ocorrência de incêndios (RODRIGUES, 2015). É nítida as súbitas evoluções tecnológicas e constante transformação espacial que os ambientes sofrem, e os riscos à vida dos usuários das edificações (DUARTE *et al.*, 2002).

Esses fatores, aliados a extensa complexidade e dificuldade de estudo o projeto de edificações, bem como as legislações demasiadamente prescritivas (GILL; SILVA, 2011), coloca em evidência esse estudo, devido à importância da segurança dos arranha-céus, interações e interferências no seu projeto. Esses aspetos podem ser reduzidos se implementado um plano de medidas adequado de proteção e prevenção quanto ao risco de incêndio (VENEZIA, 2011).

Aliada ao plano, se sucede o desenvolvimento e aprimoramento da gestão de emergência para outro nível, ocorrendo uma tendência acadêmica gradativa baseada em sistemas de leitura de informações conciliadas com BIM para o gerenciamento de segurança (GAO & BOZORGI, 2019). Bem como a complexa intenção de compreender os efeitos do comportamento humano no momento da informação do alarme de incêndio, a qual, ainda existe lacunas quanto as questões de raciocínio e ação para evacuação, visto que nenhum dos sistemas baseados em construção inteligente que auxiliam na fuga em situações de emergência é validado regularmente (PEETERS *et al.*, 2020).

Com o propósito de externar as pesquisas desenvolvidas recentemente, visto a importância do assunto, se concebe o estudo desenvolvido, possibilitando o entendimento dos requisitos da segurança contra incêndio de uma edificação, levando em consideração a complexidade que envolve, bem como salientando respeitosamente que o projeto vai muito além dos critérios normativos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A área da segurança contra incêndio está estritamente ligada a inúmeras áreas que tangenciam conhecimentos do fenômeno incêndio, partindo da sua deflagração, dinâmica de propagação, ações dependentes e, por fim, a sua extinção. A área deve ser considerada uma ciência.

Segundo Cuoghi (2006), "o risco de incêndio é um subproduto indesejado da atividade humana moderna" e inserido ao longo de toda a vida útil de uma edificação e na camada social e empresarial, ou seja, não é mais possível ignorar este fenômeno. Além da recente necessidade em desenvolver estudos e critérios nessa área, é preciso traçar planos para uma evolução planejada, bem fundamentada e em acordo com os fatores que influenciam a dinâmica do fogo.

Uma construção de um edifício, inicia no planejamento e projeto, seguido da fase de construção até sua conclusão e, provavelmente, o seu processo de ocupação e uso ao longo de décadas. Neste extenso período, diferentes riscos estão relacionados a cada etapa do projeto e da vida útil. Além disso, o rápido crescimento e desenvolvimento da sociedade, os planos de segurança são gradativamente desafiados propiciado pela complexidade arquitetônica e dimensões dos projetos, ligadamente aos recentes métodos construtivos (SHIM *et al.*, 2012).

Yenumula *et al.*, (2015) constataram que a falta de orientações apropriadas no decorrer de uma evacuação simboliza uma ameaça expressiva para os usuários da edificação. Para tal, promoveram a utilização de um sistema de sinalização inteligente e BIM para monitorar continuamente o edifício.

Complementarmente, para a previsão da proteção da edificação contra incêndio, é inevitável a compreensão dos fatores inerentes à arquitetura, que possuem influências diretas na evacuação da população, propagação e intensidade do incêndio.

A desunião entre orientação de salvamento e projeto arquitetônico acaba omitindo o potencial da disposição arquitetônica para projetar diretamente a experiência de orientação de salvamento dos ocupantes e aguçar seu comportamento para alcançar os objetivos de evacuação segura (NATAPOV *et al.*, 2022). Atender essa demanda é essencial para criar a experiência de orientação pretendida pelas legislações, atingindo os objetivos de desempenho relacionados ao comportamento de orientação dos usuários da edificação (NATAPOV *et al.*, 2022).

Partindo desse conhecimento se torna possível delinear os preceitos de segurança, definição dos sistemas construtivos, os equipamentos e soluções a serem projetadas, para mitigar a possibilidade de vitimas e perda patrimonial em um incêndio.

Nesse contexto, o presente capítulo procura contribuir na compressão do fenômeno denominado incêndio, referenciando definições e questões de importancia no que tange a severidade do incêndio nas edificações, bem como complementar questões para o entendimento do comportamento dos usuários nas edificações.

## **2.1 Dinâmica do incêndio e bases da segurança contra incêndio**

### **2.1.1 Segurança contra incêndio**

É compreendido por Silva (2014) que os riscos que norteiam a segurança contra incêndio (SCI) devem ser mitigados antes que o fenômeno se espalhe pela edificação, visando a priorização da vida, por meio de alertas. Ainda, pessoas treinadas para o combate do fogo e resgate das pessoas, controle de fumaça e meios de rota de fuga, aliados ao confinamento do incêndio, ajudam no combate.

De acordo com Cheng *et al.*, 2016 a principal causa pela qual a maior parte das fatalidades em uma situação de incêndio é a evacuação, comprometida pelo mau senso de fuga, barreiras durante a evacuação, como chamas ou bloqueio da rota de saída ou falta têm tempo necessário para escapar, diretamente ligado a segurança contra incêndio da edificação.

A SCI pode ser dividida em duas grandes áreas de estudo, a reação ao fogo dos materiais e resistência ao fogo de sistemas.

A reação corrobora a necessidade do cuidado com os materiais utilizados no edifício, trazido para as regulamentações brasileiras com a finalidade de controlar os materiais de acabamento e de revestimento aplicados nas construções para evitar a ignição ou retardar a propagação do fogo, permitindo mais tempo para o abandono do prédio (COELHO, 2010).

Já a resistência ao fogo dos elementos, quando o ambiente atinge o “*flashover*”, ou seja, combustão generalizada, está atrelada a resistência das estruturas como aliadas no escape da edificação em situação de incêndio (PURKISS & LI, 2013). Nessas situações, a perda do patrimônio será mais relevante, pois, além

da destruição do conteúdo, poderá existir a interrupção do processo produtivo, com possíveis danos aos prédios vizinhos e ao meio ambiente. Se o incêndio atingir o seu estágio totalmente desenvolvido, a maior preocupação passa a ser a resistência ao fogo das estruturas e o isolamento dos riscos a partir do afastamento entre edificações e das compartimentações de áreas.

A Instrução Técnica nº02 do CBPMESP (SÃO PAULO, 2018) corrobora sobre o aumento da SCI, por meio barreiras resistentes ao fogo, proporcionando a compartimentação do incêndio, devido ao confinamento do mesmo em um determinado ambiente. O conceito de compartimentação está atrelado aos elementos de vedação, verticais ou horizontais, em resistirem a propagação das chamas, gases quentes e fumaça, aos elementos adjacentes (MARCATTI *et al.*, 2008; FAGUNDES, 2013).

Portanto, o estudo da resistência ao fogo é definido como a habilidade de um elemento em compartimentar um ambiente, sem perder a estabilidade estrutural, a fim de conter as chamas que poderiam ser percoladas para cômodos adjacentes ao do início do foco de incêndio (ONO, 2007; FRANSSEN *et al.*, 2009).

Os procedimentos padrão adotados por diferentes países para estabelecer níveis de resistência ao fogo de elementos são semelhantes entre si. Conforme a norma de exigência de resistência ao fogo de elementos construtivos, a NBR 14432 (ABNT, 2001), a resistência ao fogo é a propriedade de um elemento de construção de resistir à ação do fogo por determinado período de tempo, mantendo a sua segurança estrutural, isolamento térmico e estanqueidade a gases quentes e chama. Este nível de atendimento é mensurado pelo Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), que é exigido devido a necessidade de considerar à altura da edificação, assim como a densidade de pessoas que lá permanecem durante a exploração da atividade, para que a sua aplicação garanta a evacuação com segurança das pessoas, conforme a IT 08 do CBPMESP (SÃO PAULO, 2018).

Estes requisitos também estão apontados nas principais normas nacionais e internacionais, que norteiam os métodos de verificação do TRF dos elementos construtivos, a exemplo da NBR 10636 (ABNT, 1989), NBR 5628 (ABNT, 2001), ASTM E119 (ASTM, 2008), ASTM E2307 (ASTM, 2016), ISO 834 (ISO, 1999), NBR 14925 (ABNT, 2019), entre outras. De acordo com tais normas, na realização dos ensaios, as condições de exposição dos elementos que se pretende ensaiar são



conferidos por meio de um programa térmico padrão com a verificação dos requisitos.

A conceituação dos parâmetros de compartimentação é essencial para a determinação das exigências de resistência ao fogo, porém inúmeras dúvidas podem ser levantadas em projeto e na verificação de uma edificação existente, indicando a deficiência de desenvolvimento de pesquisas na área (COSTA; ONO; PIGNATTA, 2005).

Figura 4 – Exemplificação do efeito da compartimentação



Fonte: PROMAT, acesso em 10/10/2022.

As normativas são determinadas por meio de decretos e ou instruções técnicas de cada estado brasileiro, dirigindo-se especialmente para segurança dos usuários das edificações. Todavia, passa a ser dever dos profissionais precaver por um sistema proteção adequada por meio de medidas estratégicas de prevenção, decisões arquitetônicas e materiais apropriados de proteção passiva (SEITO *et al.*, 2008).

Para Silva (2014), um sistema de SCI em edificação consiste no conjunto de meios passivos e ativos de proteção. As medidas ativas têm em vista o combate do fogo em conjunto com a ação de uma pessoa ou por equipamento com acionamento automático. Ono (2007) cita exemplos de proteção ativa a extinção manual através de hidrantes e mangotes; ou automática, por meio de chuveiros automáticos, extintores de incêndio, sistemas de alarme e detecção; e os sistemas de sinalização e iluminação que compõe as saídas de emergência.

Já as medidas de proteção passivas desempenham a função de controlar o fogo juntamente com as implicações dos elementos combustíveis dentro dos ambientes, sem a necessidade de operação específica no caso do incêndio (BUCHANAN, 2002). Junto a estas medidas então situadas as compartimentações horizontais e verticais, as características arquitetônicas, uso e ocupação que possuem os elementos construtivos, uso de materiais adequados e, principalmente, a carga de incêndio incorporada nas edificações (ONO, 2007).

### 2.1.2 Desenvolvimento do incêndio

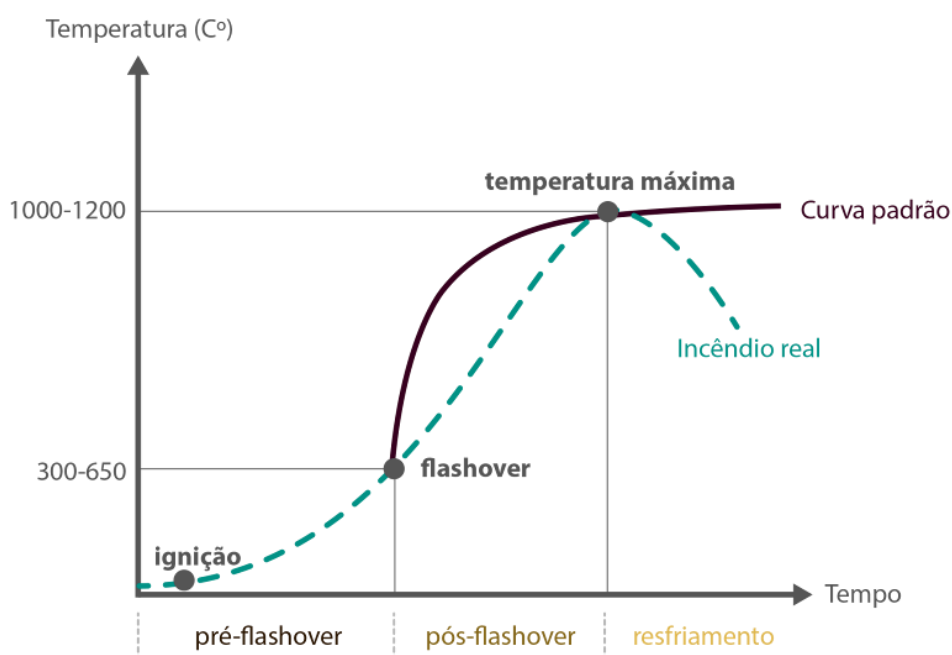
O fogo pode ser caracterizado como um fenômeno físico-químico, no qual ocorre uma reação de oxidação exotérmica de alguma substância combustível, conciliado com o oxigênio, calor e reação em cadeia, conforme IT N°02 do CBPMESP (SÃO PAULO, 2011). O incêndio, originado pelo fogo, pode ser caracterizado como um processo de combustão que, ao longo do tempo, se propaga no espaço de forma descontrolada, influenciado com a quantidade e distribuição do material combustível no local, características arquitetônicas, medidas de prevenção e proteção, entre outros (SEITO, 2008; ANVISA, 2014).

Estas medidas, segundo Silva (2012), necessitam serem adotadas para facilitar a evacuação dos ocupantes da edificação e, por conseguinte, possibilitar a entrada da equipe de combate ao incêndio. O desenvolvimento do incêndio é compreendido por meio de curvas de temperatura por tempo que assemelham à elevação da temperatura em função do tempo de duração do incêndio, caracterizado por três estágios, sendo eles a ignição, a fase de aquecimento e a fase de resfriamento. Cabe salientar que essas curvas em situações reais podem ser alteradas, principalmente pela função do projeto arquitetônico e a carga de matéria combustível.

A proposição de uma curva teórica de um incêndio confinado tem como embasamento a análise comparativa de resistência ao fogo entre elementos em função do aumento da temperatura em relação ao tempo, conhecidas como curvas padronizadas de incêndio (FIB, 2007). Essas curvas possibilitam análises experimentais comparativas entre diferentes ensaios de resistência fogo dos elementos construtivos, pois as situações de exposições se tornam semelhantes e controláveis.

Elas são parametrizadas por características dos compartimentos, tais como: grau de ventilação, aberturas, propriedades dos materiais presentes no ambiente e características térmicas que constituem a compartimentação. Porém, possuem apenas o ramo ascendente, iniciando no instante em que ocorre a inflamação generalizada (*flashover*), não considerando a diferença das características do cenário de incêndio que variam de um compartimento para o outro (COSTA, 2002; COSTA e SILVA, 2003; SILVA, 2004). Casonato (2007) salienta que esta curva padrão (Figura 5) não simboliza as situações reais de um incêndio, mas por simplicidade, é normal associá-la a tempos presumidos ao meio técnico, com a finalidade de auxiliar na definição dos parâmetros de projeto.

Figura 5 - Relação entre curva de um incêndio real e curva padrão de incêndio



Fonte: Adaptado pelo autor de Costa e Silva (2003).

Em um incêndio típico, nos momentos iniciais de incêndio ocorre a formação de uma camada de fumaça quente e gases quentes na parte superior do ambiente, se espalhando quase de forma circular, derivada da queima de um determinado material, a qual irradia calor por todo ambiente, atingindo os materiais inflamáveis que aumentam a velocidade de crescimento do incêndio (GE *et al.*, 2014; HE *et al.*, 2015; KONECKI, 2017; FONOLLOSA *et al.*, 2018;). Esse crescimento ocorre conforme a carga de incêndio no ambiente e a velocidade com que o incêndio vai progredir de uma combustão localizada para combustão generalizada em todos os materiais, no instante em que a taxa de combustão está no seu auge e o consumo

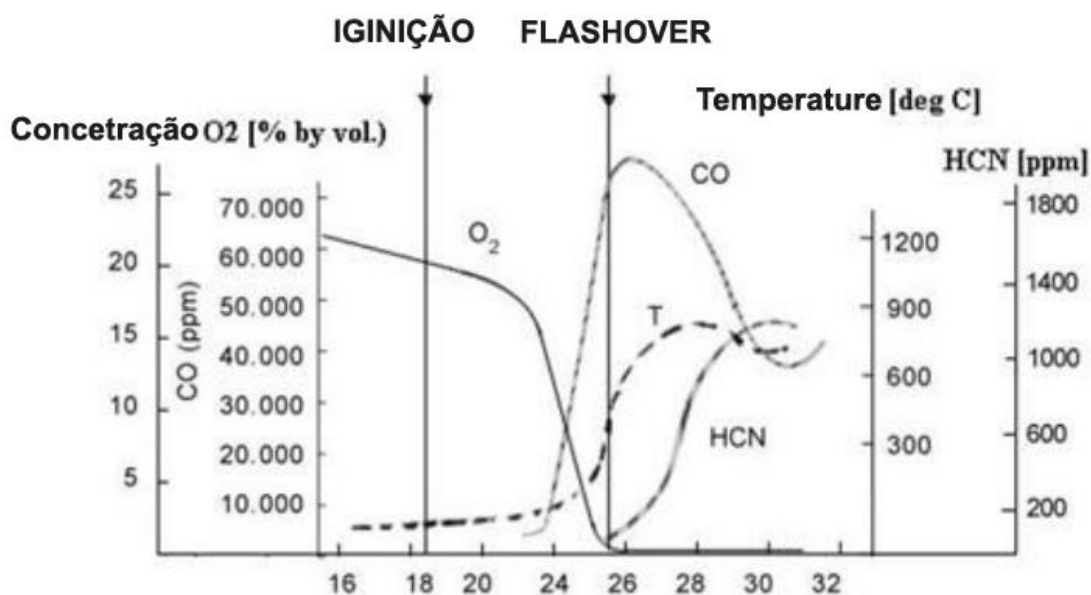
de oxigênio é influenciado pelas aberturas e janelas, e diminui de 21% em volume para cerca de 16%, dependendo do produto químico (KONECKI, 2017).

A perda de visibilidade em pouco tempo, comum em um incêndio que possui geração de fumaça elevada, provoca pânico, sentimento de aprisionamento e dificuldade de evacuação para os usuários da edificação. Sendo que em alguns casos a quantidade de produtos tóxicos emitidos pela fumaça pode causar diminuição das taxas de oxigênio no ar, no sangue arterial ou nos tecidos (hipóxia), o que pode levar ausência de oxigênio no ar, no sangue arterial ou nos tecidos (anóxia), direcionando a uma fatalidade.

Os incêndios consomem os materiais dentro dos ambientes, geram produtos da combustão dos mesmos, e tornam o ar impróprio para respiração, devido a presença de partículas e gases tóxicos. Tende para a escassez do oxigênio dentro de um recinto, acarretando em mortes por asfixia antes mesmo de consequências das temperaturas elevadas.

De acordo com a Figura 6, em 1998 Purser já mostrava a quantidade de oxigênio em relação ao desenvolvimento das fases do incêndio dentro do ambiente, antes de ocorrer a alimentação de oxigênio pelas aberturas externas do edifício. Essa alimentação, se ocorrida bruscamente, pode ocasionar o fenômeno de *backdraft*, que é a explosão de fumaça e a ignição da fumaça (CBMDF, 2012).

Figura 6 - Exemplos de mudanças na temperatura, oxigênio e alguns produtos tóxicos durante um incêndio em um pequeno espaço compartimentado



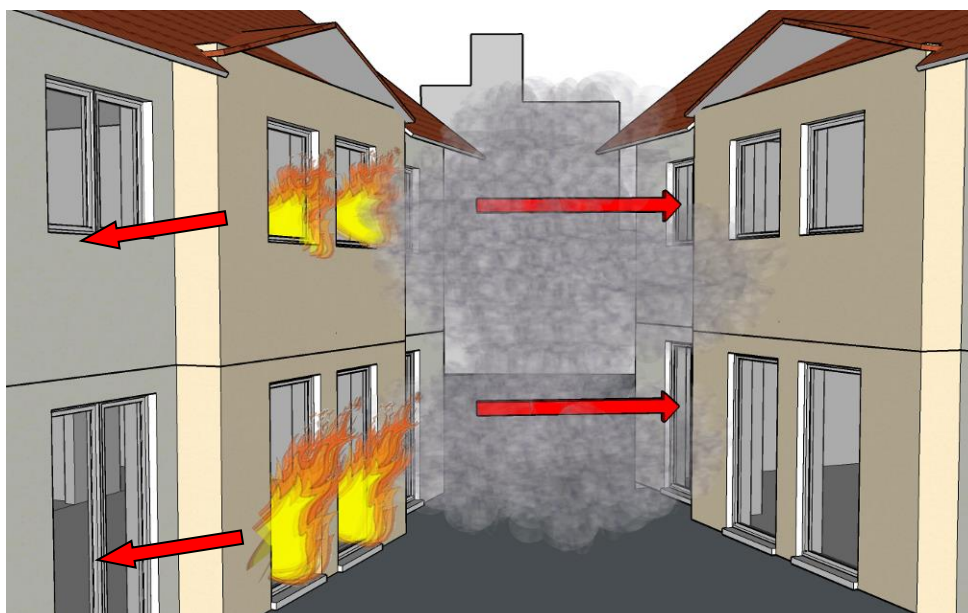
Fonte: Adaptado pelo autor de Purser (1995).

### 2.1.3 Meios de propagação do calor

Uma das questões mais importantes para entender o mecânico do fogo é compreendendo as formas de distribuição da energia gerada pelo calor, ou seja, a maneira como ocorre a transferência de energia de um sistema para outro, para o equilíbrio de temperatura entre os elementos (CUNHA 2010; FAGUNDES, 2013), sendo elas a radiação, condução e convecção.

A radiação ocorre com a queima de algum material, por meio da emissão de energia por raios caloríficos, ou seja, por radiação infravermelha. Sua transmissão ocorre através do espaço em todas as direções do ambiente, semelhante à luz, sem suporte de material. Essa energia, quando entra em contato com um corpo, é transformada em calor, ocasionando o seu aquecimento. Esta forma de transferência de calor é preocupante em edificações próximas e em área que possuem isolamento de risco e dependem da resistência ao fogo dos materiais, pois ela pode ser intensificada pela fumaça (Figura 7).

Figura 7 – Mecanismo de transferência de calor por radiação

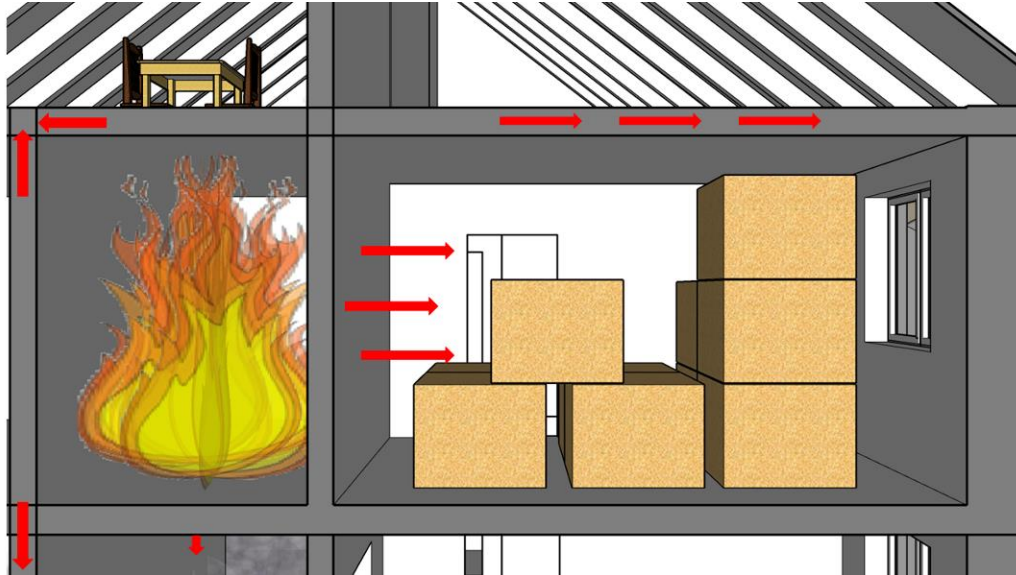


Fonte: Autor.

A condução (Figura 8) está mais relacionada com a questão do equilíbrio de calor de um elemento ou entre dois elementos em contato, explicado quimicamente pela alteração do estado das moléculas, ou seja, quanto mais aquecida mais a estrutura molecular se movimenta. O isolamento térmico dos sistema está diretamente relacionado com a capacidade de condução, ou seja, quanto maior a

capacidade de condução, mais rápida é a transferência de calor, portanto, menor capacidade de isolar termicamente. Este é um dos critérios verificado na resistência ao fogo dos elementos de vedação.

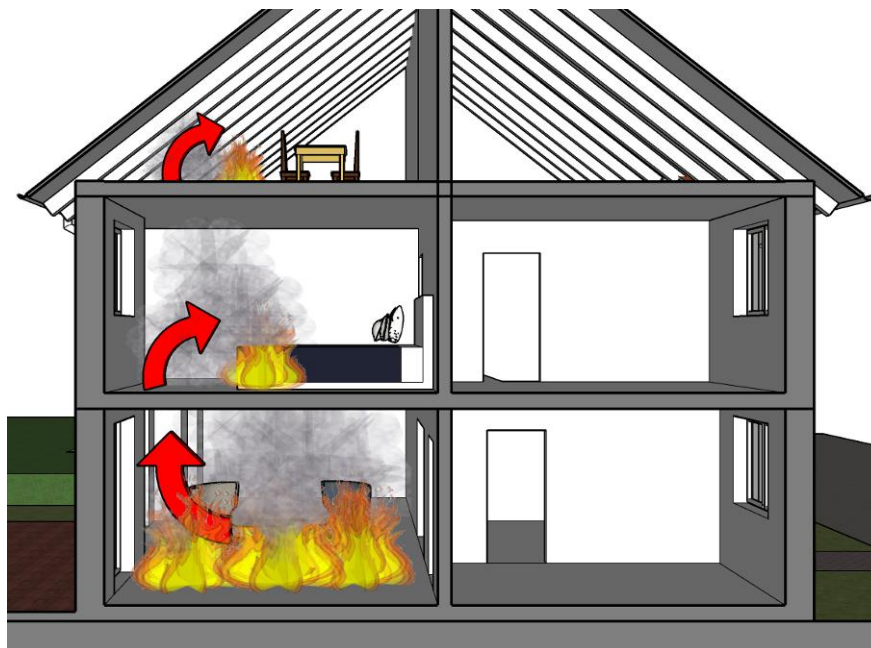
Figura 8 - Mecanismo de transferência de calor por condução



Fonte: Autor.

A convecção (Figura 9) é o fenômeno relacionado com a densidade dos gases, ou seja, os gases quentes gerados da queima de um determinado material possuem menor densidade em relação ao ar do ambiente. Essa diferença provoca corrente ascendente dos gases quentes e correntes descendentes do restante do ar mais frio. Essa movimentação possibilita que outros materiais sejam aquecidos até entrarem em combustão, ação relacionada a corredores sistemas de proteção passiva e a qualquer abertura entre dois ambientes.

Figura 9 - Mecanismo de transferência de calor por convecção



Fonte: Autor.

Essas condições citadas podem ser observadas nos diversos incêndios reais apresentados neste trabalho. Em um cenário real de incêndio, segundo Fagundes (2013), as três formas de propagação do fogo ocorrem de forma simultânea, mas, conforme explanado por Cunha (2010), geralmente o fogo inicia por condução em um material combustível, e, de acordo com o aumento da temperatura e a intensidade do calor gerada pela queima do material, a radiação de calor passa a ser a forma predominante do calor, conseqüentemente, a de maior relevância quanto à propagação de incêndios.

#### 2.1.4 Fatores importantes no entendimento da propagação do incêndio

O fogo dentro de um compartimento pode se propagar de diversas formas em um edifício (Figura 10), portanto, a sua compreensão de propagação é complexa. Questões arquitetônicas para o mecanismo interno de distribuição do incêndio, correlação entre elementos resistente ao fogo, além dos sistemas de compartimentação vertical e horizontal, estão atreladas às relações das aberturas entre os ambientes, portas corta-fogo, passagem de sistemas entre ambientes compartimentados, ligação de shaft's, passagens livres para outros recintos.

Figura 10 – Exemplo da falta de compartimentação no edifício Wilton Paes de Almeida no Largo do Paiçandu, São Paulo.



Fonte: BBC, 2018

A dispersão do fogo na edificação é uma preocupação recente, pois o calor intenso das chamas e gases que são projetados pelas aberturas e queima dos materiais dentro do compartimento provocam a inflamação dos materiais combustíveis dos andares adjacentes através da projeção de calor.

Nos edifícios a sua arquitetura remete para um conceito com formas contínuas, criando meios de passagem, caminhos complexos, sendo que em alguns casos devem ser compartimentados no sentido vertical. Mas nem todas arquiteturas são possíveis, devido a sua complexidade, necessitando a compartimentação por sensores horizontais, por exemplo a separação dos eixos das salas em um pavimento, com a caixa de escada ou átrio de um edifício (LELLI L., LOUTAN J, 2018).

Sinistros como Joelma em 1974 e Winton Paes em 2018 (BBC, 2018) evidenciam os danos pela falta da existência de compartimentação vertical nos fossos de elevadores e caixa de escada, sem compartimentação, os quais serviram para a propagação do fogo, extremamente prejudiciais na evacuações dos ocupantes, além da degradação estrutural provenientes da ação do fogo.

Em 2005, os experimentos de Kwan e Lee (2005) explanavam a comparação dos tempos de viagem necessário dos socorristas para chegar até o prédio do



sinistro é inferior ao tempo necessário para chegar até o local interno, onde se encontra o incêndio, do edifício de vários andares. Devido a alguns fatores envolvendo a mobilidade mais lenta, incerteza das rotas internas e em alguns casos a indisponibilidade de elevadores nas situações de emergência.

Devido algumas arquiteturas herméticas e de grande magnitude a compreensão situacional em relação ao posicionamento interno no edifício acaba sendo dificultada. Desta forma, é perdido um determinado período por conta da avaliação da área no local do acidente, além da navegação por tentativa e erro (TASHAKKORI *et al.*, 2015). Em complemento, com a possibilidade de visualizar os modelos internos em 3D, desenvolvidos especificamente para aumentar a consciência das informações da arquitetura do edifício anteriormente ao resgate, diminui a necessidade de perder tempo valioso circulando pelos andares para encontrar as rotas e dispositivos de combate a chamas.

Além disso, a propagação de fumaça é uma questão inevitável que ocorre nos incidentes, reduzindo ainda mais a velocidade dos deslocamentos, além do aumento das distâncias percorridas, devido às distrações visuais, áreas bloqueadas e espaços inacessíveis dentro de estruturas, conseqüentemente diminuindo a precisão da emergência (JEON *et al.*, 2011).

O comportamento na hora das decisões dos usuários da edificação em uma situação de incêndio, é afetado pela disposição arquitetônica e pela propagação da fumaça (KOBES *et al.*, 2010; TANG *et al.*, 2012). O leiaute complexo e a fumaça afetam a visualização da rota de evacuação evidenciando que estas duas questões implicam na tomada de decisões corretas, implicando significativamente nas pessoas, ou seja, diretamente ligada a percepção e tempo de reação, tanto na evacuação quanto no resgate (DORAZIO *et al.*, 2015).

A queima dos materiais que integram os ambientes geram gases e, em alguns casos, podem ser tóxicos e inodoros. A sua elevação dentro de um ambiente provoca a dissipação do calor e, conseqüentemente, a propagação do fogo. Este fato é agravado pela maior presença de materiais sintéticos utilizados na construção civil, elevando o nível de gases prejudiciais ao homem, responsáveis por mais de 80% das mortes nos incêndio (FAGUNDES, 2013).

E não somente os materiais utilizados, mas também os materiais combustíveis no ambiente, a exemplo do incêndio no Hospital Badim ocorrido em setembro de 2019, que possuía óleo diesel armazenado no subsolo da edificação

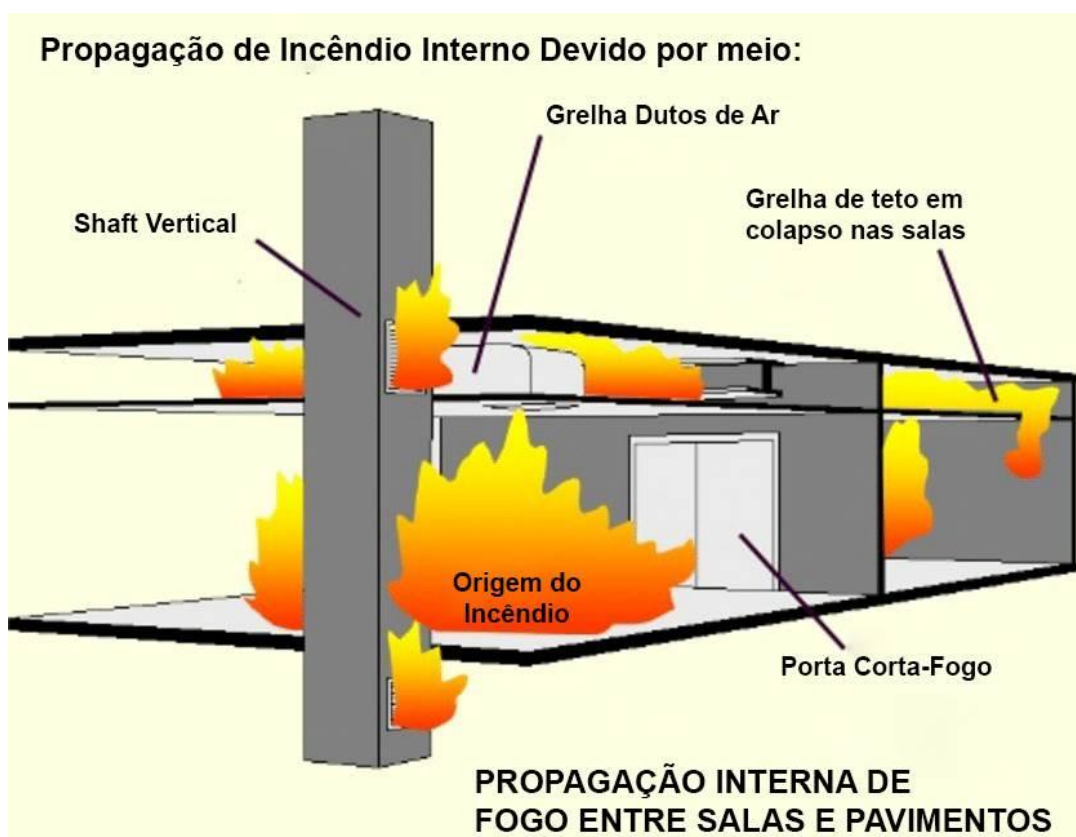
sem as devidas seguranças técnicas (G1, 2020). Mas o tocando deste exemplo norteia a facilidade da propagação interna pela falta de compartimentação de setores, bem como o excesso de fumaça que se propagou por meios internos, sendo uma parcela pelas ligações de ar condicionado, escadas e elevadores, ocasionando vítimas e agravando o resgate das demais.

Nos sinistros ocorridos em edificações, Konecki (2017) evidencia que 80% das mortes são causadas pela presença intensa de fumaça no ambiente, pois a fumaça serve como um facilitador no transporte de partículas em um incêndio, passando a representar uma grande ameaça para as pessoas, devido a inalação de substâncias tóxicas.

Os edifícios altos possuem a particularidade de riscos específicos voltados rotas de fuga, as quais acontecem pelas caixas de escadas, portanto é importantíssimo manter a segurança nestes locais mesmo durante um incêndio (MCKEEN *et al.*, 2022). Recentes tragédias de incêndio explanam a preocupação pela propagação de fumaça nas caixas de escadas, a qual podem tornar a única saída intransitável, além de espalhar a fumaça pelo edifício, exemplo do incêndio ocorrido na *Grenfell Tower* (Figura 2), a qual houve a propagação de fumaça tóxica pela única escada do prédio (FANG *et al.*, 2021).

Para garantir a evacuação segura dos usuários em edifícios de vários andares, é necessário cumprir com a compartimentação, para que a origem do fogo permaneça dentro de um espaço limitado. Para tal, além dos elementos construtivos necessitarem da resistência ao fogo, as aberturas e vazios entre os ambientes devem ser minimizados, pois são pontos propícios para a propagação do fogo, a exemplo dos espaçamentos de tetos suspensos, dutos de cabos e outros dutos de serviço de construção (PURKISS & LI 2013).

Figura 11 - Possibilidade de propagação do fogo através da fachada do edifício



Fonte: Adaptado pelo autor de Senthol (2015).

No interior do edifício, durante o incêndio, que se encontra em uma fase desenvolvida, pode ocorrer a transferência do fogo para fora do edifício, promovidos pela quebra das janelas e outras aberturas dos sistemas das fachadas. Este comportamento já foi evidenciado em 1983 (EMMONS, 1983) e enaltecido por outros autores posteriormente (YAMAGUCHI, 2005; KOSIOREK, 2003).

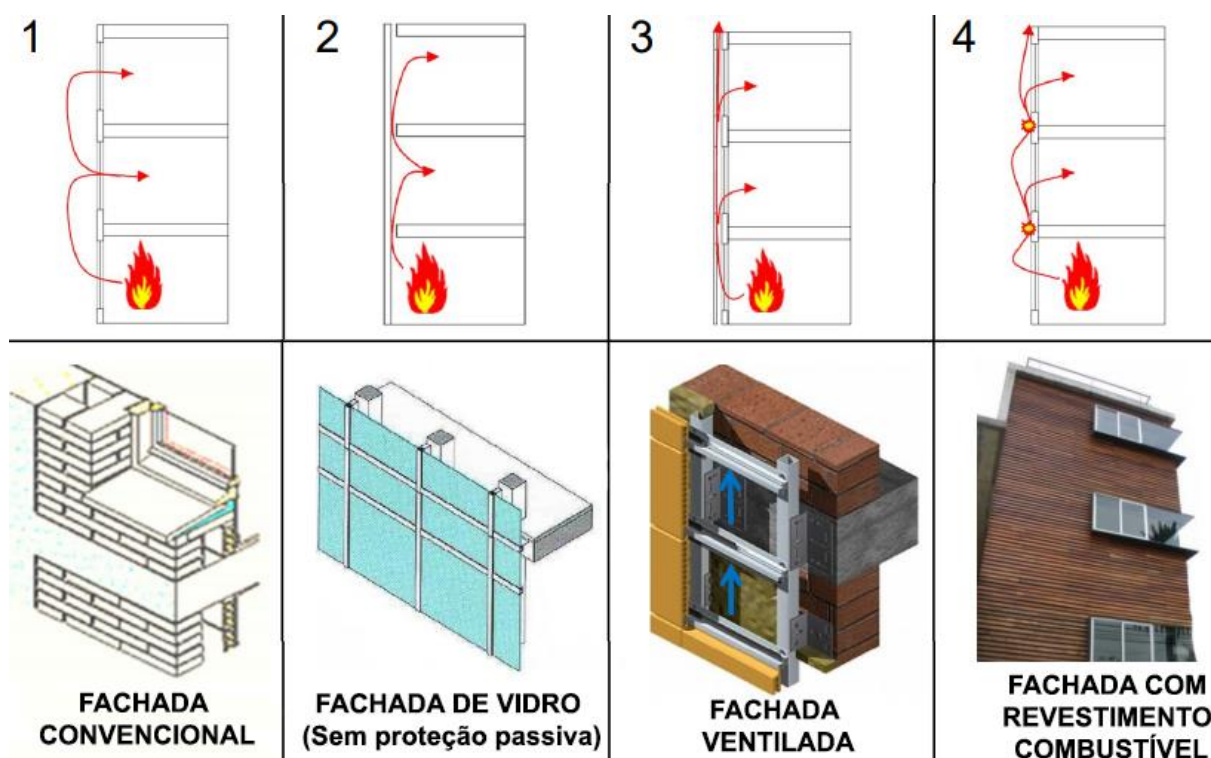
A tendência de propagação das chamas está diretamente ligada aos materiais que são empregados na parte interna e externa do edifício, sendo questões cruciais para o entendimento do comportamento. Distintos materiais possuem diferentes densidades e questões físicas, de modo que altera as taxas de queima, bem como as propriedades elementares, que podem ser considerada uma das principais questões que conduzem a intensidade do fogo (SHI *et al.*, 2017). Desta forma, uma edificação em modelo BIM, com as propriedades dos materiais permite a melhor compreensão e subsídios nas previsões das situações de incêndio.

Gupta (2018) expoe uma visão interessante, quando o assunto é propagação das chamas pelas fachadas das edificações, os regulamentos que tratam da segurança são teoricamente silenciosos quanto às exigências rígidas e dá liberdade

aos incorporadores e arquitetos para projetar conforme seus desejos, sem nenhuma autoridade determinando ao aspecto da segurança contra incêndio.

O fato da propagação pode ser piorado quando o mecanismo é intensificado pela queima dos materiais que compõem os sistemas de fechamento periférico dos edifícios a exemplo da Figura 12.

Figura 12 - Formas de propagação do fogo conforme o tipo do sistema que compõe a fachada da edificação



Fonte: Adaptado pelo autor de FORERO (2017).

Entre as tecnologias para melhorar termicamente, existem os Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico Externo (ETICS), são amplamente utilizados nos sistemas de fachadas na Europa, podendo eles serem incombustíveis ou combustíveis. Estes materiais quando aplicado em fachadas de edifícios, materiais de isolamento térmico combustíveis, podem aumentar significativamente a carga de incêndio e risco de propagação de incêndio em edifícios, devido a sua propriedade de reação ao fogo (KOTTHOFF, 2015; BJEGOVIC *et al.*, 2016). Os autores, ainda comentam que a questão da reação ao fogo pode ter grande influência no desempenho ao fogo.

A propagação do calor, tanto pela fachada da edificação, quanto pelas passagens internas, é compreendida pela maior densidade do ar no compartimento

de incêndio, onde é criada uma pressão positiva na sala, o que faz com que a fumaça se mova através das aberturas do compartimento, ou seja, janelas, portas, dutos de ar condicionados, permitindo que o fogo se espalhe para o lado de fora do prédio ou para outros ambientes. E, semelhante ao funcionamento de uma chaminé, as chamas são atraídas pelo ar aquecido. Dessa maneira, como o ambiente da sala acima do fogo é aquecido, o fogo é novamente direcionado para ambientes aquecidos, pois o piso acima do fogo cria um vazio térmico (SHRIVER, 2002).

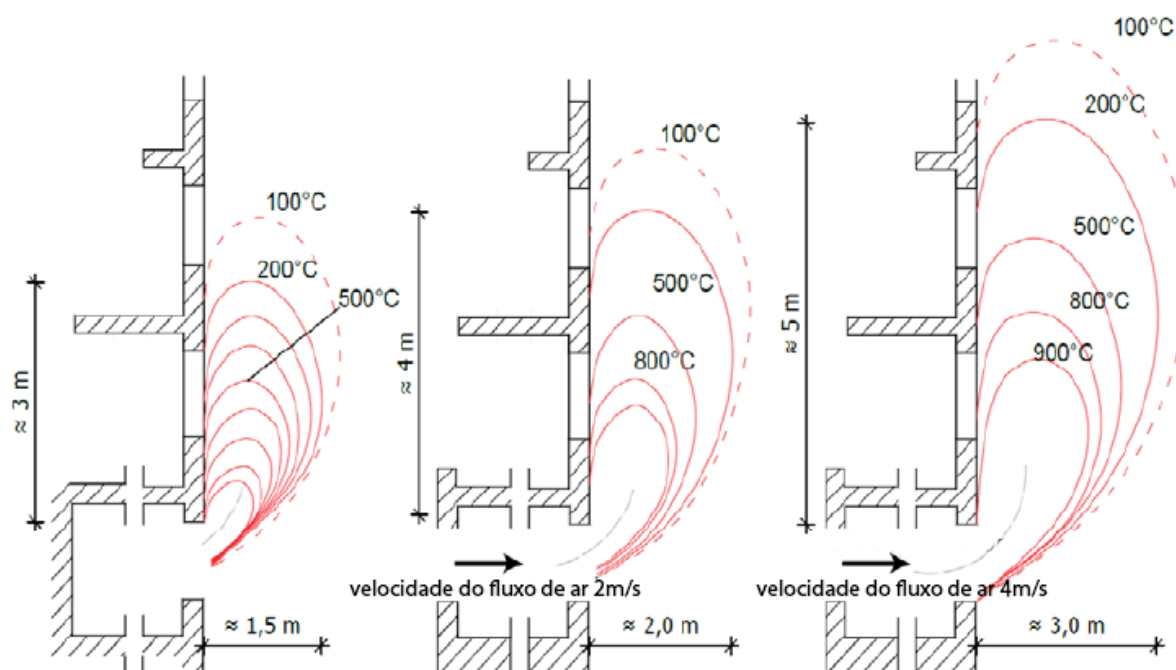
Nas fachadas, esse comportamento das chamas de retornar para dentro da edificação é agravado quando o sistema de isolamento da fachada entra em colapso no compartimento logo acima do incêndio, possibilitando que chamas atinjam os materiais combustíveis no piso acima com mais facilidade, mesmo que a parede tenha sistema de selagem perimetral (ROGAN & SHIPPER, 2010).

Essa preocupação foi evidenciada em diversas pesquisas, que investigaram o comportamento do vidro frente ao fogo. Observou-se que o gradiente térmico é o principal causador do rompimento dos vidros em cenário de incêndio (KANG, 2009; CHOW, 2011). Desde então, foram investigadas outras influências que poderiam retardar a quebra dos vidros, através de molduras, fazendo que o vidro não desagregasse por completo e mantivesse uma barreira, mesmo que rompido. (BABRAUSKAS, 2011; DEMBELE, 2012; QUINN, 2013; WANG, 2015; WANG, 2017).

Desta forma, um incêndio iniciado dentro de um recinto de uma edificação se espalha por meio dos materiais combustíveis. Caso não houver uma rápida intervenção de uma ação ativa, seja humana ou de sistema de combate, dentre eles sistema de chuveiros automáticos, o mesmo pode evoluir para a fase de combustão generalizada, estado em que as chamas serão projetadas pelas aberturas, se propagando para outros andares.

Nestes casos, a situação do incêndio nas fachadas pode ser intensificada pelo fluxo de ventilação (Figura 13), possibilitando atingirem até 5 metros acima da abertura, independentemente do tipo do sistema da fachada e material utilizado, ou seja, ainda pode ocorrer possível contribuição se a fachada for constituída de material combustível (RUKAVINA *et al.*, 2017).

Figura 13 – Intensidade da chamas nas aberturas da fachada de acordo com a mudança do fluxo de ar



Fonte: Adaptado pelo autor de Rukavina *et al.*, (2017).

Pesquisas apontam que os incêndios iniciados dentro dos compartimentos e que chegam a atingir temperaturas de combustão generalizada, são mais graves devido a carga de incêndio no ambiente, conciliada com o contato do oxigênio pelas aberturas arquitetônicas. Os gases que são expelidos pelas aberturas podem exceder temperaturas de 800°C, sendo mais expressivas em relação a incêndios que possuem fonte de calor, devido a dissipação da temperatura. (YUNG, 1988; HAJPÁL, 2012; ANDERSON, 2015).

## 2.2 Segurança contra incêndio nas edificações

Com a evolução da construção civil e as cidades tendendo a serem cada vez mais verticais, esbarram novas soluções construtivas das edificações. As tecnologias e material inovadores possuem benefícios e riscos associados, como a segurança contra incêndio (FORERO, 2017).

Conforme apresentado pelo *Center of Fire Statistics (CFS)*, da *International Association of Fire and Rescue Services (CTIF)*, entre os anos de 2012 e 2016, englobando 55 países, foram protocolados mais de 3 milhões de incêndios, destes 35,5% ocorreram em edificações. As estatísticas de incêndio nos EUA apontam que

apenas em 2017, houveram 1.319.500 incêndios, que causaram inúmeras mortes e feridos além da larga escala da perda patrimonial, provando que a implementação das medidas de segurança contra incêndio em um projeto apropriado é a solução para melhorar a eficiência de evacuação (SUN e TURKAN, 2020).

A implementação eficaz da proteção contra incêndio em edifícios está diretamente ligada ao conhecimento dos fenômenos, as competências na etapa do projeto, construção e na gestão. Hackitt (2018) comenta sobre a improbidade das regulamentações de construção e segurança contra incêndio, evidenciando a necessidade da evolução cultural para contribuir na entrega de construções satisfatórias. Estas indagações são norteadas nos profissionais perante as legislações, falhas projetuais, arquiteturas ineficientes, equívocos construtivos, comunicação e compatibilização dos projetos e setor executivo.

Aprofundando a estas questões, percebemos que a segurança é inerente à etapa do projeto e construção, mas essencialmente na gestão do desenvolvimento da construção. E este quesito está na interação eficaz dos diversos projetistas que podem envolver uma edificação complexa.

A sistemática instantânea entre vários participantes é fundamental em projetos corporativos, visto às inúmeras fases e assuntos do projeto arquitetônico que envolvem a colaboração das demais disciplinas. Portanto a coordenação nesses processos complexos e diversos, são muito importantes visto as informações geradas de design nas fases iniciais de um projeto e os sucessivos desenvolvimento nas fases seguintes (KIM *et al.*, 2013).

E conseqüentemente, pouco é levado em consideração na concepção da arquitetura sobre a garantia da segurança dos pedestres em uma evacuação, além de projetar edifícios confortáveis para navegação. As muitas disciplinas envolvidas como Arquitetura, Engenharia Civil e Engenharia de Segurança Contra Incêndio exigem uma investigação aliada quanto ao comportamento de orientação dos usuários da edificação, principalmente em construções complexas de vários andares (FENG *et al.*, 2021).

Com a evolução da industrialização da construção, a complexidade e as dimensões das construções, com intuito de eludir as incertezas, as incorporações dos projetos tangenciam para a setorização das disciplinas, continuo com a especialização e principalmente a evolução do formato de apresentação de um

projeto, modelando as informações com maior destreza (BUILDING SMART KOREA, 2011).

Considerações de projeto adequadas ou modificações no projeto podem ter reduzido o risco de construção ou evitado o incidente. Pesquisas e análises de fatalidades na construção indicaram que poderiam ter sido eliminadas ou reduzidas a probabilidade de acidentes por meio de mais reflexão durante o projeto. Há uma indicação clara que o projetista pode desempenhar um papel importante na segurança da construção como a prevenção, no entanto, as dificuldades na implementação é a falta de formação nos padrões de segurança e melhores práticas (TYMVIOS, 2016; YI ZEN *et al.*, 2017).

Indo ao encontro, a Biblioteca Central de Seattle, estudada por inúmeros especialistas, é uma estrutura única e premiada, visto como um renomado projeto de arquitetura, mas ao mesmo tempo desafiador para a orientação na navegação (DOVEY, 2017). De acordo com o ponto de vista dos seus usuários, a configuração espacial, estética e funcionalidade dessa biblioteca são complexas (DALTON & HÖLSCHER, 2016; PLANK & ZISCH, 2017; SEAMON, 2017; WANG, 2017).

Figura 14 - Biblioteca Central de Seattle



Fonte: Kuliga *et al.*, (2019).

Pesquisas demonstram que as pessoas muitas vezes se perdem ou se desorientam durante a circulação em edifícios desconhecidos, com geometrias multiníveis complexas ou desenvolvimento de uso misto, como hospitais, shopping centers e museus (KULIGA *et al.*, 2019; LAZARIDOU & PSARRA, 2021).

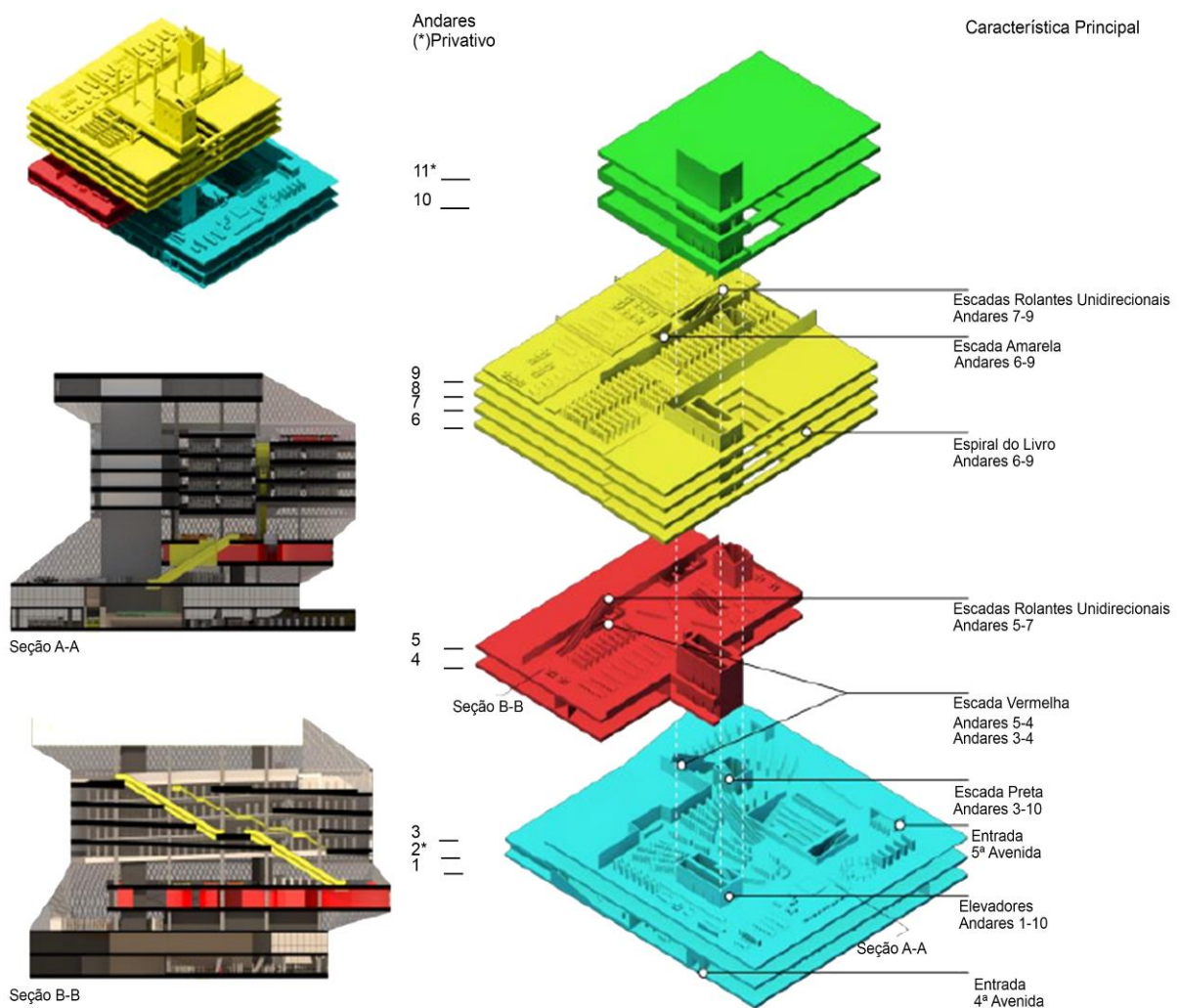
A evolução do BIM, além de todas as facilidades existentes, proporciona a possibilidade da verificação do regulamento usando as propriedades dos objetos de



construção, como as características e informações de relação para várias disciplinas. Sendo que, por meio de um sistema automatizado de verificação de regulamentação podem reduzir erros, tempo e principalmente o uso ineficiente de recursos humanos por meio da verificação objetiva (WATSON, 2011; KIM *et al.*, 2013).

Também possibilitar o melhor acesso aos projetos de diversas formas, obtendo remotamente as informações, é uma ferramenta de grande valia para a consciência situacional dos socorristas e, portanto, melhoraria a segurança e reduziria a perda de propriedade (HOLMBERG *et al.*, 2013).

Figura 15 - Configuração espacial da Biblioteca Central de Seattle



Fonte: Adaptado pelo autor de Kuliga *et al.*, (2019).

Com o intuito obter modelos internos detalhados, existem tendências para utilizar o BIM, conciliado com outras ferramentas para se obter um modelo espacial

do edifício em questão. Entretanto, esbaram em algumas dificuldades, pois as ferramentas foram desenvolvidas para outras finalidades, tornando às carentes de informações no tocante de incidentes e emergências (LIN *et al.*, 2013; KOLBE, 2017). Vale ressaltar que o agrupamento de informações para auxiliar os socorristas devem ser simples e objetivos, visto a habilidade de interpretação necessária e o pouco tempo que há nestas situações para a conscientização situacional antes de iniciar as ações.

Por outro lado, os edifícios mais recentes construídos, além da sua digitalização moderna na modelagem, embarcam tecnologias consideráveis para atender as necessidades agregadas da Tecnologia da Informação (TI), que por sua vez, podem servir de suporte para inúmeras ações de gerenciamento, a exemplo da circulação e monitoramento das pessoas nos edifícios, proporcionando a visualização do comportamento quando realizado um sinal de saída (PEETERS *et al.*, 2020).

Portanto, as medidas de segurança contra incêndio desenvolvida junto ao projeto da edificação, bem como a tecnologia embarcada, trata-se de um pré-dimensionamento que visa mitigar os riscos e as fragilidades na evacuação de emergência, os quais são previamente identificados. Como por exemplo, a percepção e tempo de reação (DORAZIO *et al.*, 2015), disposição proporcional das saídas de emergência e a capacidades de evacuação (DAAMEN, HOOGENDOORN, 2012), mobilidade das pessoas (KULIGOWSKI *et al.*, 2015), condições da evacuação, interações e memória (XUE *et al.*, 2016). Entre muitos outros que são diretamente influenciados pela detecção e alarme de incêndio, saídas de emergência e a compartimentação.

Levando em consideração a constante evolução das tecnologias de informação, o aumento da popularidade da tecnologia BIM na área de engenharia e arquitetura, e ferramentas de comunicação entre dispositivos inteligentes, estão gradativamente fornecendo a possibilidade de aplicação conjuntas para o aumento da segurança contra incêndio em edifícios (PÉREZ *et al.*, 2020; TANG *et al.*, 2021; NATAPOV *et al.*, 2022)

Desta forma, os capítulos a seguir pretendem trazer os critérios que estão atrelados as percepções de incêndio em conjunto com os critérios de segurança dos usuários das edificações, relacionados a precisão e qualidade das informações

utilizadas na assistência às pessoas para combate e evacuação em uma situação de emergência.

### 2.2.1 Modernização aliada a segurança

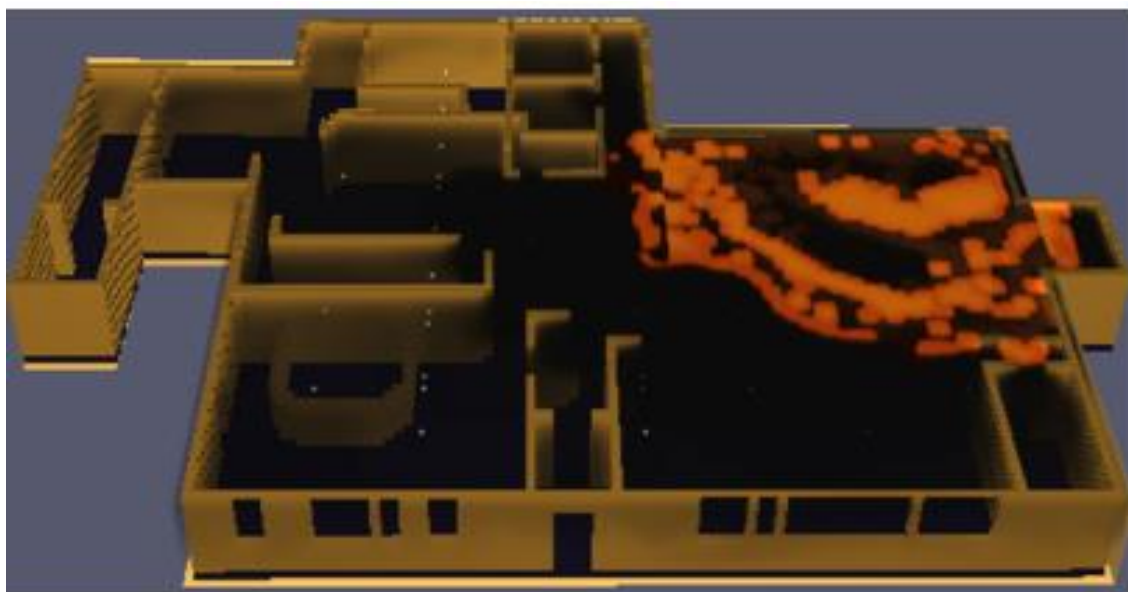
Com a evolução natural e facilitadora, as estruturas modeladas em formato BIM, com modelos tridimensionais internos e externos facilitam as compreensões em uma situação de emergência.

Em edifícios de alta escala, muitas vezes densamente ocupados, devem ser implementado um planejamento eficiente de evacuação. No entanto, devido à complexidade em praticar um plano de emergência, as simulações baseadas em BIM complementada com *Fire Dynamic Simulator* (FDS) (Figura 16) são grandes aliadas para a verificação do desempenho da evacuação e propagação do incêndio (SUN & TURKAN, 2020).

As simulações de edifícios durante a concepção arquitetônica, tem se concentrado principalmente na área da modelagem das evacuações de saídas (CHU *et al.*, 2014), comportamento da multidão quanto a evacuação (SCHYNDEL *et al.*, 2016) e mais recentes padrões de comportamento humano em diferentes níveis de complexidade (SCHAUMANN *et al.*, 2016; MIRAHADI *et al.*, 2019).

Essa combinação permite a simulação com distintos cenários da arquitetura, com zonas de incêndio layout de edifícios, alternando zonas e rotas de fuga, propagação das chamas, entre outros, podendo ser utilizadas para melhorar o projeto do edifício, contribuindo para a gestão da segurança contra incêndio (SUN & TURKAN, 2020).

Figura 16 – Simulação da propagação das chamas no FDS.



Fonte: Sun e Turkan (2020).

Assim, melhorando o tempo de respostas das evacuações das pessoas, bem como melhorar o salvamento das mesmas, visto o poder de fornecimento de informações aos bombeiros (TASHAKKORI, *et al.*, 2015; CHEN *et al.*, 2018). Em complemento, Chen *et al.*, (2018) cita que em um incêndio com colapso estrutural, uma das principais causas de vítimas está relacionada às incertezas sobre a propagação e a dimensão do incêndio, agravada pela falta de familiaridade com o ambiente.

Contudo, o comportamento simulado na maioria dos casos, mesmo bem avançado, ainda é irrealisticamente ideal para tomadas de decisões, por exemplo, rota mais curta ou mais rápida, dificultando a capacidade de prever como as decisões de projeto podem resultar em um comportamento de orientação abaixo do ideal. No entanto, se prevê as simulações como um auxílio para os métodos de evacuação, proporcionando mais previsão conservadora e possibilidade de avanço em busca da fidelidade realística (Figura 17).

Figura 17 – Modelagem de usuários



Fonte: Adaptado pelo autor de XU *et al.*, (2020).

Em complemento, o efeito da visibilidade na evacuação nas escadas, evidenciando uma relação entre a velocidade de evacuação e nível de visibilidade (CHEN *et al.*, 2018), lembrando da importância da eficiência da iluminação de emergência nas rotas de fuga ou até mesmo da distribuição das luminárias ligadas ao circuito de emergência em uma escada enclausurada.

Cheng *et al.*, (2017) pesquisou o potencial de um sistema inteligente integrado com BIM e o sistema de proteção contra incêndio em modelo 3D que agregou uma formação de uma base de sensores integrados com Bluetooth, sensor de redes, projetos auxiliados por localização, planejamento de rota de evacuação/resgate ideal e um aplicativo móvel em tempo real. O intuito, seria fornecer a informação de salvamento ao usuário e a devida orientação para os bombeiros, nos estágios iniciais dos incêndios, devido a edificações agregadas ao conceito de construção inteligente.

Nas situações de emergências em estruturas complexas ou até mesmo em edifícios altos, a acessibilidade do local das chamas pode estar fora de alcance das mangueiras de incêndio externas bem como de escadas aéreas, extinguindo a possibilidade da utilização de escadas para evacuar as vítimas. Assim, o salvamento dos usuários ocorrerá por meio da caixa de escada interna, assim como a tarefa para extinguir as chamas. Desta forma, possuir previamente as informações arquitetônicas e dos dispositivos de combate presentes na edificação, facilita a

estratégia antes dos bombeiros ingressarem na edificação diminuindo o tempo de resposta do resgate e combate às chamas (TASHAKKORI *et al.*, 2015).

Com os riscos que existem, os sistemas inteligentes de segurança contra incêndio e, particularmente, exercem uma função cada vez mais fundamental nas intervenções de segurança da vida (MAKSIMOVIC *et al.*, 2015). Da mesma forma, as tendências das construções com maiores interações digitais por meio das redes de sensores sem fio, possibilitada pelo desenvolvimento das redes globais que possuem a capacidade de estar em qualquer lugar e interagir entre si de acordo com a programação imposta, os quais são orquestrados para suportar a gama de sensores, detectores monitoramento, dos fenômenos.

Surgindo assim, um novo conceito de *Internet of Things* (IoT), conforme Gubbi *et al.*, (2013) definida como:

“interconexão de dispositivos de detecção e atuação que fornecem a capacidade de compartilhar informações entre plataformas por meio de uma estrutura unificada, desenvolvendo um quadro operacional comum para permitir aplicações inovadoras”.

Este compartilhamento de informações permite, por meio de redes de comunicação, a associação das inúmeras tecnologias de detecções, identificação e reconhecimento, hardwares, softwares calibrados com algoritmos, tecnologia de captação de posição, entre outros, todos ligados a plataformas de armazenamento na nuvem (COLAKOVIC e HADZIALIC, 2018).

Essa rede de comunicação baseada em IoT aliada com o BIM é incipiente, mas possibilita combinações complementares e promissoras aos projetos, dispondo de representações com alta realidade, a nível das características de cada componente, com a localização espacial e uma gama de referências e propriedades. Requitado pela IoT que possibilita o fornecimento das situações e informações em tempo real, bem como o registro das atividades desenvolvidas pela tecnologia embarcada na construção (TANG *et al.*, 2019).

Basicamente, possibilita a criação de uma rede de objetos físicos agrupados a sensores, software e demais tecnologias com o propósito de se conectar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas pela internet (MAKSIMOVIC *et al.*, 2015). Como por exemplo, realizar uma comunicação entre eletrodomésticos, carros,

sensores de temperatura e demais dispositivos encorpados neste novo conceito de construção inteligente.

### 2.2.2 Detecção e Alarme de incêndio

Os alarmes de incêndio consistem em diferentes dispositivos conciliados para possuir a capacidade de detectar as chamas e alertar as pessoas por meio de aparelhos audiovisuais. Desempenham um papel vital na redução do risco e danos causados pelo incêndio em qualquer setor e principalmente na evacuação das pessoas.

Os incidentes, na sua grande maioria, são mais destrutivos quando ocorre a propagação do fogo, portanto, a detecção precoce de um incêndio é uma maneira decisiva de salvar vidas e reduzir perdas de patrimônio, possibilitando extinguir a fonte do fogo em seu estágio inicial (PETTIGREW *et al.*, 2016).

Na sua grande maioria, principalmente nos exemplos dos grandes edifícios e indústrias, os sistemas de alarme de incêndio desempenham uma função vital no salvamento dos ocupantes e as perdas associadas aos danos (KOCHANNEK *et al.*, 2011).

Os sistemas de detecção conciliados ao alarme, priorizam sinalizar o início de um incêndio, permitindo, por exemplo, acordar os habitantes de uma habitação ou de suas proximidades. Ainda, devem servir para sinalizar os brigadistas de incêndio daquela localidade a iniciarem o plano de evacuação ou até mesmo avisar o corpo de bombeiros, todos com o propósito de reduzir o tempo de evacuação e intervenção.

Figura 18 – Central de alarme e detecção de incêndio com interoperabilidade inteligente



Fonte: Siemens, 2022.

Desde que seja ativado em tempo hábil, os sistemas de alarme de incêndio são essenciais nos momentos iniciais da exponencial do incêndio, alarmando a situação do ambiente, diminuindo a probabilidade da propagação do fogo, possibilitando o combate por meios ativos de extinção de fogo, diminuindo as suas consequências (PETTIGREW *et al.*, 2016).

Entretanto esses sistemas baseados nos detectores de fumaça, são pouco eficientes e inteligentes quanto a segurança da informação, pois contam normalmente com um único sensor em cada ambiente, podendo haver problemas se o sensor não detectar. Também podem gerar falsos alarmes, devido a presença de algum cigarro aceso (SARWAR *et al.*, 2018).

Portanto, os sistemas devem ser projetados para que não ocorra falha ou interferência em uma situação de sinistro. A exemplo do incêndio no prédio Lacrosse (Figura 19), ocorrido em 24 de novembro de 2014, com 23 andares em Melbourne, Austrália, onde o fogo provocou a falha do sistema de alarme de incêndio em alguns pavimentos, exigindo que os bombeiros fossem forçados a entrar e alertar os ocupantes para garantir a evacuação total (BADROCK, 2016).



Figura 19 - Incêndio no prédio Lacrosse



Fonte: BADROCK, 2016.

Além de outras variáveis humanas em relação a reflexão após a percepção do alarme, indo ao encontro da pesquisa de Liu & Lo (2011), os quais apuraram que, em um edifício residencial, mais de 50% optam por fazer as malas ou ignorar o alarme, e a proporção de pessoas que optam por evacuar no primeiro contato com o alarme é de apenas 15%.

Associado ao poder de decisão, no início do século XX já se preocupava com a percepção do tipo de sinal gerado às pessoas, evidenciando a objetividade maior dos alertas narrados ou com advertências diretas por meio de um sistema de comunicação, levando mais a sério pelos usuários da edificação, devido a relação da capacidade da população em distinguir e decifrar os sinais de emergência (PROULX, 2000; PROULX & LAROCHE, 2001; PROULX & RICHARDSON, 2002).

Os desastres que envolve edifícios na sua grande maioria é derivada do incêndio. O surgimento de arranha-céus, edifícios de grande escala e internamento complexos acarretam em novos desafios para a segurança contra incêndio e desencadeia uma nova demanda para atualizar os sistemas tradicionais de alarme de incêndio (ZHOU *et al.*, 2022).

Contudo, com o avanço natural da tecnologia nos últimos anos, as informações das construções estão cada vez mais desenvolvidas, possibilitando

estudos e experimentos de novos métodos para auxiliar as evacuações cada vez mais eficazes (PEETERS *et al.*, 2020).

Os edifícios naturalmente estão cada vez mais modernizados, agregando tecnologias para melhorar a interação e experiência dos seus respectivos usuários. Sendo assim, essa modernização além de atender as demandas de informações, podem ser usadas para monitorar, integrar sensores e dispositivos, controlar e gerenciar melhor um edifício (WATSON, 2011).

Na situação da ocorrência de um incêndio em edifícios volumosos, com inúmeros espaços internos, além da possibilidade da arquitetura complexa, existe uma dificuldade ainda maior em determinar a quantidade e a posição dos ocupantes, dificultando a imposição de ações dos socorristas, bem como comprometendo a sua capacidade de resgate, devido à falta de informação do local, ou até mesmo arriscando sua própria vida (CHEN & CHU, 2016).

Anteriormente os líderes de equipes de combates a incêndio contavam apenas com projetos comuns de prevenção e proteção contra incêndio para usar nas decisões das estratégias, táticas e desdobramentos de combate a incêndio, sendo todas ações baseadas essencialmente em duas dimensões, nem sempre sendo eficazes nas estruturas atuais (CHOU *et al.*, 2019).

Portanto, carece de um sistema de resgate integrado com os detectores, sensores e dispositivos, para fornecer informações em tempo real, bem como possibilitar a orientação de evacuação, visando o melhoramento das técnicas de resgate, através de uma interpolação dos detectores, sensores e dispositivos de comunicação (SARWAR *et al.*, 2018).

Tashakkori (2015) estudou os benefícios em possuir um modelo espacial tridimensional (3D) que pode ser utilizado auxiliando nas ações de emergências nos espaços internos, destacando a importância das informações tridimensionais nas situações dos sinistros, não ajudando apenas os usuários a saírem, mas também auxiliaria os socorristas a melhorar o tempo de respostas nos resgates. Em complemento, os incêndios de grande porte envolvem muitas incertezas sobre a propagação e a sua dimensão, conciliada com a falta de similaridade com o ambiente, sendo estas questões amenizadas pelas informações da construção fornecidas por meio do BIM (CHEN *et al.*, 2018).

Ao longo dos anos, pesquisadores sugeriram diversos métodos para evoluir a detecção e monitoramento de incêndio, sendo estes métodos utilizando o

monitoramento e alerta de incêndio, empregando redes de sensores sem fio, sistema global para tecnologia de comunicação móvel, sistemas de detecção de incêndio baseados em vídeos e imagens e sistemas inteligentes que interpola informação de alarmes (SOLIMAN *et al.*, 2010; MOBIN *et al.*, 2016; SINGH *et al.*, 2017; SARWAR *et al.*, 2018).

Saeed (2018) para driblar os efeitos negativos de falsos alarmes, almejando um sistema economicamente viável e confiável, propôs um sistema com comunicações móveis em uma residência, que analisa em uma central as informações recebidas de sensores de fumaça, gás e calor, intercalando estes parâmetros em estágios de avisos prévios e alarme geral.

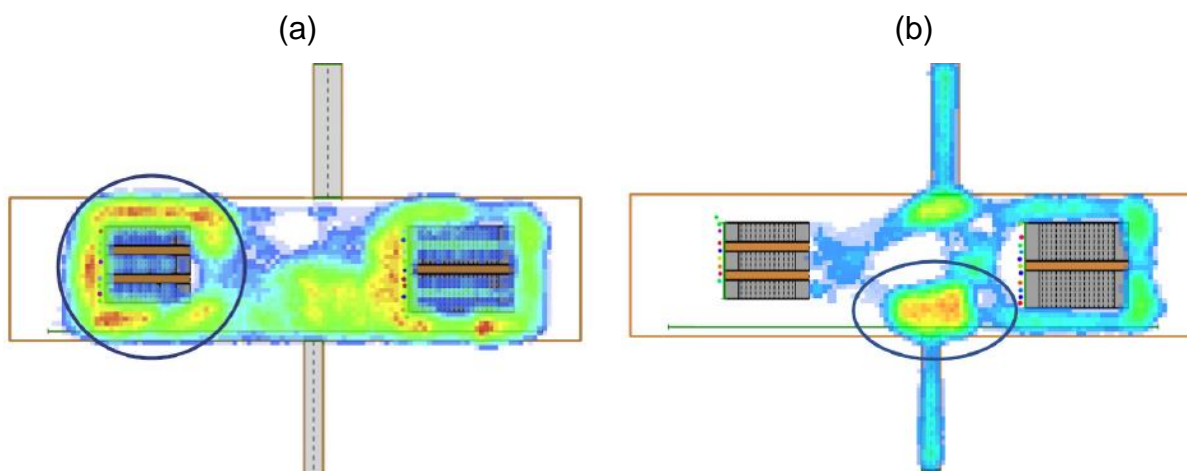
Na ocasião de um sensor ser acionado, trata-se de uma condição de aviso prévio, ocasionando o alerta ao usuário da edificação, cabendo a tomada de decisão da central de acordo com a resposta do usuário ou o acionamento de mais sensores neste período. Em seguida, o alerta é compartilhado na central do sistema, que simultaneamente o compartilha com o sistema de armazenamento online, direcionando o alarme para as entidades competentes de resgates.

Outro aliado na transmissão de alertas é a interconexão digital de objetos diários com a internet pela tecnologia IoT, apontado como uma gama enorme de evolução dos recursos de compartilhamento informativo apropriados no critério de monitoramento e gerenciamento da segurança contra incêndio (PRASANNA *et al.*, 2017; MOURADIAN *et al.*, 2018).

Essa tecnologia procura desenvolver as informações padronizadas geradas pelos diferentes tipos de sensores e atuadores, agrupando um subconjunto de informações para a utilização nos dispositivos interativos, associado ao BIM (DEHURY *et al.*, 2016).

Igualmente, Tang *et al.*, (2019) expuseram a evolução da Internet e sensores que podem ser utilizados como indicativo de perigo em tempo real, devido a possibilidade de informar as pessoas os alertas necessários e fornece-las suporte para evacuar uma edificação, além da possibilidade de fornecerem sua própria localização.

Figura 20 - Detecção da densidade do fluxo de passageiros (a) entrada das escadas rolantes nível 1; (b) entrada do saguão nível 2.



Fonte: Tang *et al.*, (2019).

Em complemento, afirmam que o sistema pode orientar ocupantes do edifício para a assegurar e minimizar as baixas, associando o BIM as simulações de incêndios e tecnologia IoT, criando uma combinação comunicativa entre as plataformas, para monitorar e alertar sobre a situação do ambiente (CHEN *et al.*, 2018)

As *Wireless Sensor Networks* (WSN), ou redes de sensores sem fio, já são conhecidas na aplicação de alarme de incêndio e detectores de calor e fumaça, pela sua praticidade de aplicação, baixo custo e consumo de energia. As informações são transmitidas por meio da conexão sem fio entre os sensores em tempo real, melhorando a exatidão e a pontualidade no controle do incêndio (SILVANI *et al.*, 2014). Maksimovic *et al.*, (2015) remodelaram esses parâmetros dos sensores incluindo as leituras anteriores e atuais do sensor de temperatura, combinando com variáveis de temperatura e a taxa de variação de temperatura, ambos dentro de um período predefinido, aumentando a eficiência da detecção e reduzindo os falsos alarmes.

Alusivo a eficiência, existe ainda a possibilidade de integrar a monitorização de chamas com a climatização de edifício, não só controlando a temperatura dos ambientes, mas também fornecendo essa informação a um sistema de controle inteligente (GHADI *et al.*, 2016).

Figura 21 – Dispositivos integrados a central de alarme



Fonte: Autor.

Peeters *et al.*, (2020) baseado no conceito de construção inteligente, realizou um experimento com o propósito de verificar se a escolha da saída pelos participantes é influenciada pelo tipo de informação gerada no momento do alarme, aferindo questões em relação a escolha, tempo e a distância percorrida. Constatando que as três informações analisadas têm um impacto significativo na escolha da saída, velocidade de fuga e distância percorrida, além de constatar que as informações imperativas são mais confiáveis, opostamente as falsas que podem aumentar o tempo de saída do prédio e a distância percorrida (PEETERS *et al.*, 2020).

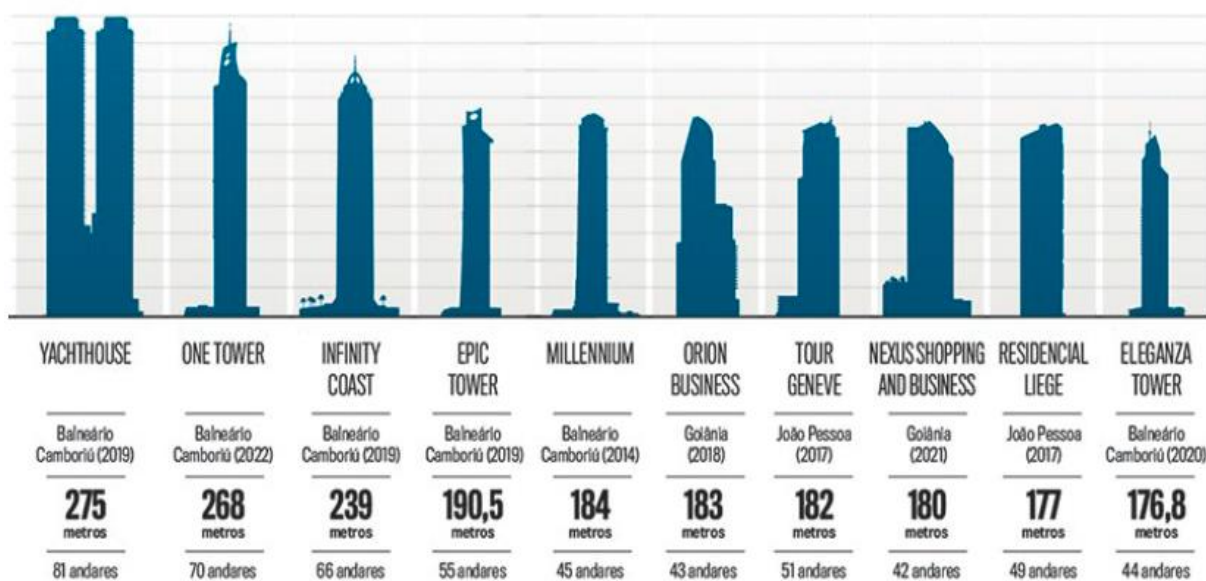
### 2.2.3 Saídas de emergência

Os ocupantes de uma edificação podem estar sujeitos a perderem a sua vida devido a um plano de emergência falho, entretanto um projeto eficiente de evacuação, consideram um tempo de evacuação rápido, podendo diminuir significativamente o risco.

O interesse pela evacuação dos edifícios iniciou ainda no século passado, objetivado a obter mais informações sobre o movimento de pessoas nas rotas de fuga, contempladas pelas escadas, corredores e portas.

Com o número crescente de edifícios de grande porte (Figura 22), menores as condições de treinamento para estes casos, os bombeiros tem mais chances de perderem suas vidas dentro dessas construções, do que às de 20 anos atrás, causada principalmente pela desorientação ou ficar preso (BROUWER, 2012). Portanto, antes que um resgate de incêndio seja realizado, deve ser compreendido os inúmeros fenômenos de ignição da edificação, indicadores de fumaça, níveis de estágio das chamas, entre outros, conforme citados anteriormente.

Figura 22 - Verticalização das Edificações no Brasil



Fonte: Goldani (2021).

As consequências de se sentir perdido são inúmeras, alterando entre confusão, estresse e frustração (KULIGA, 2019). Há evidências consideráveis que demonstram que as implicações na orientação dos usuários são amplamente moldadas através das decisões preliminares dos projetos (NATAPOV, 2021). A exemplo da localização das caixas de escada, corredores de circulação e a visibilidade dos espaços internos, bem como o conjunto de elementos que são orientativos quanto ao deslocamento de pessoas (MORAD *et al.*, 2020; LAZARIDOU *et al.*, 2021; MORAD *et al.*, 2021).

Estes aspectos referentes a orientação normalmente são contemplados no término do processo de construção, solicitados a outros profissionais projetistas da área da segurança contra incêndio, os quais encaram uma função difícil e as vezes impraticável para tornar o edifício seguramente habitável, independente da sua disposição arquitetônica ou estrutura operacional, está determinada ainda no início dos projetos (KULIGA *et al.*, 2019).

Braga (2014) aprofundou o tempo de fuga em configurações de ambientes quadrados padronizados, simulando o processo de evacuação incluindo variações nos aspectos ergonômicos e mentais. Constatando inicialmente a relevância da maior distância na disposição entre as saídas de emergência, estando diretamente relacionada ao tempo de evacuação, apenas com o reposicionamento das saídas.

Além do aumento de eficiência no período da saída, existe outro ponto extremamente importante na disposição de mais de uma saída, independente do projeto, pois o incêndio poderá atingir a edificação da forma que ocasiona o aprisionamento dos ocupantes, os quais possuíram tempo hábil para evacuação pela única escada disponível, provavelmente inacessível em algum ponto (MARTIN *et al.*, 2017).

Claramente as decisões do comportamento dos ocupantes de uma edificação exercem uma função importante no gerenciamento da segurança contra incêndios. Assim como a ineficiência de informações na edificação e a configuração espacial, são ligadas as escolhas incorretas das rotas de fuga, compreendida pela alternância de sentidos das orientações no cenário do incêndio, que pode resultar em perda de tempo tentando escapar (LURZ *et al.*, 2017)

Corroborando com Hahm *et al.*, (2016) que realizou uma pesquisa com sobreviventes de incêndio, expondo que as principais decisões são inicialmente norteadas pelo desejo de fuga e saída da edificação, ignorando as medidas de SCI.

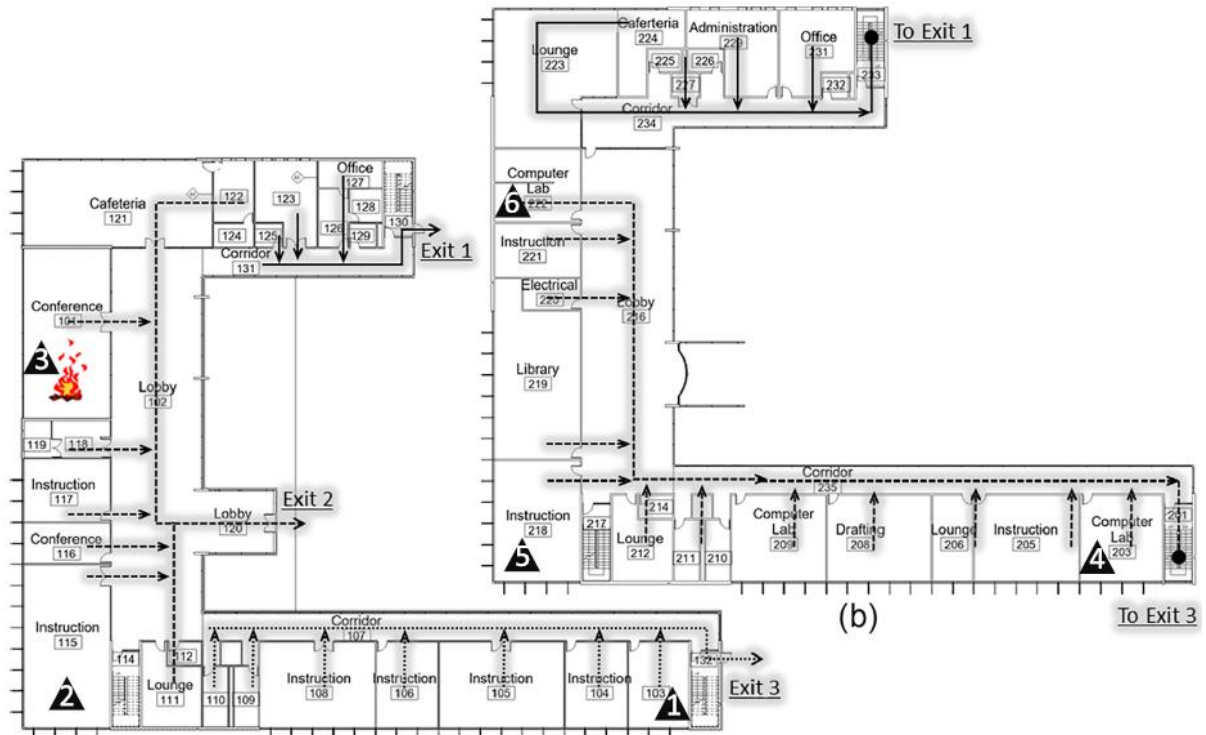
Tang *et al.*, (2012) propuseram que o comportamento da população de uma edificação é essencialmente influenciado pelo leiaute do edifício, bem como pela propagação da fumaça, prejudicando o raciocínio de decisões corretas. Estes ocupantes estão sujeitos a permanecerem presos durante uma evacuação se não estarem familiarizados com a orientações e medidas de segurança.

Entre 2013 e 2015, as fatalidades de incêndio em edificações residenciais nos Estados Unidos, indicaram uma parcela significativa de 19,8% ocasionadas por dificuldades relacionadas a evacuação, devido a aglomerações, saídas limitadas ou bloqueadas. Também expos uma parcela de 16,8% ocasionados por questões das disposições das saídas, a ausência de familiaridade das rotas de saída, distância a percorre excessiva, escolha inadequada (U.S. FIRE ADMINISTRATION, 2017).

Para Mirahadi *et al.*, (2019) pode ser impraticável ou demasiadamente simplista mensurar o desempenho da evacuação de edifício, por meio de um número que simboliza o tempo preciso para a saída das pessoas, a qual possui a finalidade de garantir a sobrevivência dos ocupantes. Compreendido, por analisar as rotas de saída sem a análise conjunta das áreas compartimentadas e rotas alternativas (Figura 23), pois uma área mais próxima do fogo pode estar em risco, enquanto que outra, mais afastada pode estar relativamente segura. Além do mais,

na situação do incêndio, as rotas de evacuação dos ocupantes são tendenciadas a entrarem em conflito com o resgate dos bombeiros.

Figura 23 – Traçado com análise de rota mais segura



Fonte: Mirahadi *et al.*, 2019.

Estes edifícios de vários pavimentos, as informações orientativas físicas revelam apenas as informações parciais sobre o caminho total da rota de saída, com a visibilidade limitada nas dimensões horizontais e verticais, associada as estratégias específicas em direcionar a saída mais próxima, sem a associação da ocorrência momentânea (MORAD *et al.*, 2021).

A visibilidade horizontal e vertical descontínuas em ambientes extensos (Figura 24), com poucas referencias de elementos construtivos para auxiliar na navegação, como entradas e saídas, corredores de circulação vertical, estão ligados a necessidade dos usuários a acreditar nas sinalizações de emergências para a sua orientação em direção a elementos que em alguns casos não são diretamente visíveis, a exemplo das caixas de escadas (KULIGA *et al.*, 2019).



Figura 24 - Alterações de nível vertical: interações para uso de escadas e escadas rolantes Escadas rolantes



Fonte: Kuliga *et al.*, 2020.

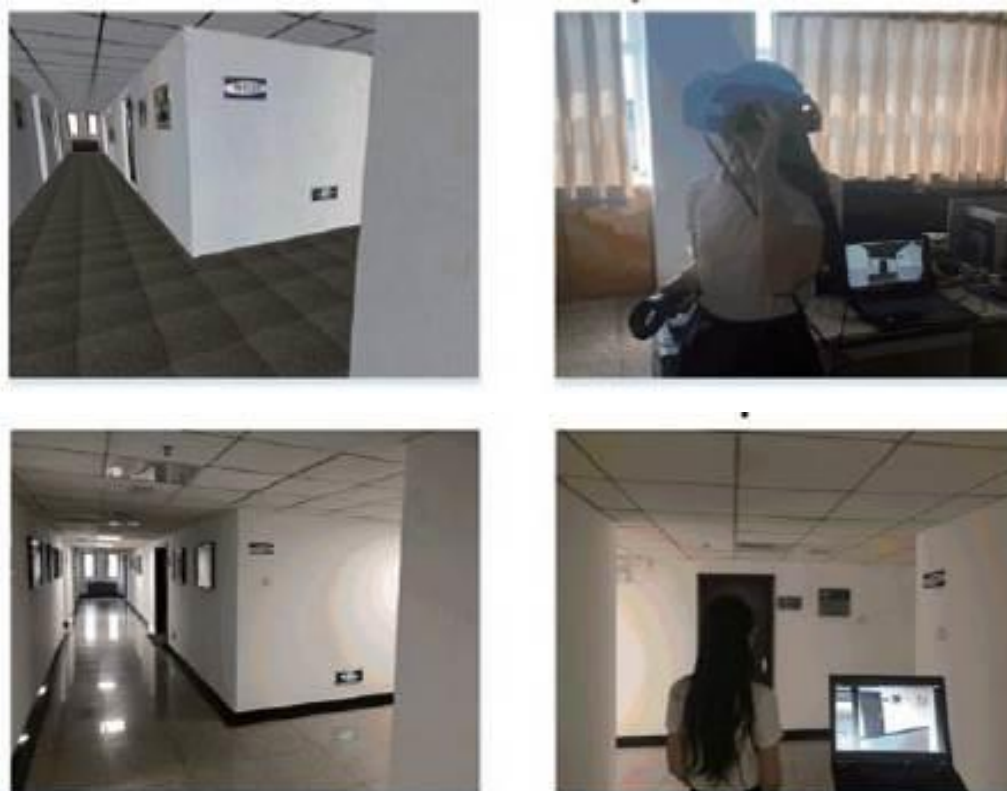
Outro aspecto importante na evacuação é a condição de visibilidade da posição das caixas de escadas no pavimento, a qual evidenciaram uma correlação entre a velocidade de evacuação e o nível de visibilidade (CHEN *et al.*, 2018).

Os ocupantes da edificação ainda poderão necessitar tomar decisões com base nas informações de orientação existentes para encontrar a rota de fuga, entretanto, a visibilidade é fundamental para o usuário, ajudando a evitar as consequências negativas de se perder, principalmente nos edifícios de inúmeros pavimentos, que possuem desafios específicos quanto à visibilidade (KULIGA *et al.*, 2015).

As escolhas das rotas de fuga durante o processo de orientação e navegação, segundo Ewart e Johnson (2021), foram correspondentes entre comparação de um edifício da vida real e um edifício virtual idêntico. Na mesma linha, relacionando o comportamento de orientação dos usuários em um edifício de dois pavimentos na vida real com um edifício simulado em 3D, relataram semelhança no desempenho entre as duas análises (Figura 25), mas com

discrepâncias significativa no processamento de orientações visuais e a ação da busca pelas informações virtuais (DONG *et al.*, 2021).

Figura 25 – Comparação de navegação entre a Realidade Virtual e ambiente real



Fonte: Dong *et al.* (2021).

Em recentes pesquisas de campo sobre experiências de deslocamento em edifícios de inúmeros andares explana que os usuários buscam encontrar os caminhos com imperícia e com mais erros quando o deslocamento ocorre entre pavimentos em relação ao deslocamento de evacuação que envolvem apenas um pavimento (KULIGA *et al.*, 2019; HINTERECKER *et al.*, 2018). Na mesma linha, Morad *et al.*, (2021) demonstra que as informações obtidas na linha de visão das pessoas no decorrer da orientação vertical, possui um peso expressivo na orientação, desempenhando uma função importante na diminuição do risco de se perder.

Levando em consideração as diversas alternâncias de informações durante os incêndios, a gestão durante a emergências é modelada com a aplicação das estratégias, mas muitas vezes traz consequências negativas por causa das decisões de comportamento errado (PAPINIGIS *et al.*, 2010). Ainda, com a presença da fumaça na maioria dos casos de evacuação, as pessoas que estão realizando a

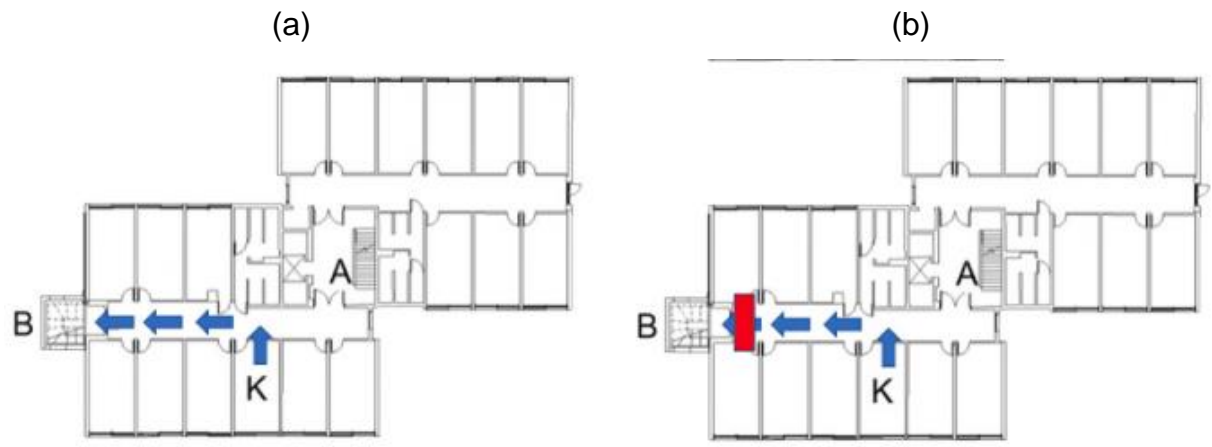
saída da edificação dificilmente alteram suas mudanças comportamentais quando lidam com informações do ambiente externo, podendo dificultar a necessidade da mudança de estratégia ou algo semelhante (ANDERSON *et al.*, 2013). Pois, a evacuação de um edifício, dependendo da sua arquitetura, pode levar mais tempo, entretanto acarretar em menos vítimas (MIRAHADI *et al.*, 2019).

Os experimentos de evacuação realizados, explanam a falta de objetividade nas informações ou orientações de pessoas em um edifício. Observando que as informações que não estão diretamente claras, acabam sendo ignoradas na sua grande maioria, fortalecendo as informações imperativas, com setas e placas de “Saída” que se tornaram mais influentes nas escolhas feitas pelos participantes (PEETERS *et al.*, 2020).

As informações fornecidas aos participantes no momento de um alarme influenciaram a escolha que fizeram para encontrar uma saída, visto que aparente as informações podem estar erradas, os participantes muitas vezes alteraram suas escolhas, optando pela saída mais segura (MORAD *et al.*, 2021). Ainda mais, se em uma situação de incêndio, a direção da população é dividida na evacuação pela sinalização de emergência, podendo direcionar uma parcela dos usuários em direção ao fogo.

Por isso, se torna claro a obrigação de um edifício possuir no mínimo duas saídas de emergência, bem como a necessidade do melhoramento no sistema de sinalizações de emergência, quanto ao balizamento das pessoas dentro de uma edificação, como visto na pesquisa de Peeters *et al.*, (2020).

Figura 26 – Indicação de emergência fixa da posição em K para (a) saídas de emergência em B e (b) Bloqueio da saída em B.



Fonte: Peeters *et al.*, 2020.

Portanto, evidenciando a seriedade da evolução dos projetos arquitetônicos e a revisão das normativas, para que seja conciliada com a possibilidade do suporte da evolução tecnologia.

### 2.3 Conceito do BIM aliado a segurança contra incêndio

A utilização de tecnologias inovadoras pode auxiliar as pessoas a controlar melhor os incêndios em edifícios, com o propósito de garantir a evacuação de todos, bem como a diminuição das perdas patrimoniais e a extinção das chamas.

Com o rápido desenvolvimento da computação gráfica e dos estudos na área da arquitetura e engenharia civil, o *Building Information Modeling* (BIM) atingiu uma clara adoção pela gama de profissionais, apoiando na aplicação do planejamento, projeto, construção, operação e manutenção das edificações (VOLK *et al.*, 2014; TANG *et al.*, 2019).



edifícios, por meio dos sistemas inovadores de monitoramento e comunicação através de redes, dispositivos e sensores, passando a ser tratado como um tema delicado quanto ao seu desenvolvimento, disseminação e principalmente a sua credibilidade (MAKSIMOVIC *et al.*, 2015; SARWAR, *et al.*, 2018).

Analisando pesquisas voltada a utilização da tecnologia, existem diversos estudos que buscam difundir o gerenciamento da segurança nas edificações. Dentre eles buscando soluções para a confiabilidade das informações construtivas nas operações de manutenção e gestão (CAYKA; GAO *et al.*, 2019), meios de localização nos espaços e gerenciamento de movimentação (LI *et al.*, 2014; XU *et al.*, 2020), tecnologia da informação e segurança (HALLOWELL *et al.*, 2016).

Alguns mais específicos, focados no desempenho da evacuação humana aplicado a segurança contra incêndio de edifícios (SUN e TURKAN, 2020), entre outros que analisaram informações de construção em um ambiente 3D digitalizado para o beneficiamento do gerenciamento de emergências por meio da integração BIM (GAO *et al.*, 2019).

Assim, a interoperabilidade possibilita ajustar as dificuldades entre os diagramas 3D e 2D, para visualizar o entorno do edifício, bem como as disposições das instalações de combate às chamas em 3D, melhorando as discrepâncias ao utilizar as ferramentas tradicionais de gerenciamento de combate a incêndio em 2D (HSU *et al.*, 2014). Em complemento, a aplicação do BIM possibilita um novo meio para evitar a falta de subsídios na orientação aos bombeiros e dos usuários da edificação, fazendo com que diminuía ainda mais a possibilidade de ficarem presos em uma evacuação (SHI *et al.*, 2017).

Portanto, devido a enorme gama de ferramentas que possam ser aliadas ao BIM, afim de processar informações, bem como a recente associação desta plataforma quanto ao gerenciamento de segurança contra incêndio, se torna incontestável utiliza lá a favor da segurança. Então, com os diversos meios associados a detecção e monitoramento de incêndio, formas de localização de usuários, comunicação e orientação para evacuação serão referenciados nos capítulos a seguir.

### 2.3.1 Evacuação dos edifícios

Com o intuito de diminuir a probabilidade da ocorrência dos desastres em edifícios e a consolidação de um projeto seguro, se desenvolve um caminho para o gerenciamento da segurança relacionada aos riscos durante a vida útil da edificação. Pois, na atualidade as questões relacionadas aos riscos ainda são realizadas de forma tradicional, dependendo da efetivação da tarefa manual, boa avaliação e interpretação correta, sendo intensamente dependente da experiência e do conhecimento multidisciplinar. Portanto, este método é pouco eficiente, prático e exequível para o gerenciamento de risco (SHIM *et al.*, 2012; ZHANG *et al.*, 2014).

Desse modo, a inclusão de tecnologias avançadas em edifícios para aprimorar a diligência da gestão é de suma importância, pois as modelagens das informações da construção aliados ao BIM proporcionam melhoramento efetivo do desempenho da segurança, possibilitando a verificação do tempo de saída seguro pela simulação (WANG *et al.*, 2015).

Pesquisas evidenciam o impacto da informação no comportamento das pessoas em apuro, comprovando a influência no poder de decisão dos usuários (PEETERS *et al.*, 2020). Dessa forma, os gestores envolvidos na segurança de edifício, a exemplo dos brigadistas, síndicos e proprietários, possuem um enorme comprometimento das decisões que devem ser tomadas, em relação aos resultados de levantamento e gerenciamento de risco dos métodos atuais.

Este envolvimento, também deve ocorrer nos sistemas inovadores com o uso do BIM e sensores que farão automaticamente compilações dessas informações e ações planejadas, além dos sistemas também serem analisados e testados para garantir a confiabilidade de resposta automática (PEETERS *et al.*, 2020). Pois, envolvem uma situação de emergência e nestes casos, não fornecer a informação é mais seguro do que informações errôneas.

A plataforma BIM em conjunto com rede de comunicação sem fio, entre outras tecnologias de comunicação, vem sendo amplamente desenvolvidas para a aplicação como ferramenta para o gerenciamento de emergências, com novos métodos inovadores da comunicação de plataformas de software e hardware (MORAD *et al.*, 2021).

Contudo, ainda existe um grande desafio em conciliar os métodos das pesquisas com usuários reais, devido a complexa compressão do comportamento

dos usuários, os quais nem sempre colaboram com as medidas de segurança contra incêndio por desconhecimento do equipamento (YANG *et al.*, 2013).

Uma abordagem importante para melhorar a relação da análise da evacuação na etapa do projeto arquitetônico e utilizar o potencial para modelar o comportamento de evacuação dos ocupantes é o uso das simulações computacionais baseadas raciocínio lógicos cognitivos (MORAD *et al.*, 2020).

Segundo Kuliga *et al.*, (2020) nas últimas duas décadas, tem se difundido a utilização da Realidade Virtual (RV) para superar as dificuldades da realização de experimentos voltados a compreensão do comportamento das pessoas em mundo real, tem se difundido gradualmente em conjunto com análise cognitiva espacial.

Esses modelos relacionam programação cognitiva para atingir representações de *wayfinding*, buscando representação pelas quais as pessoas se baseiam na movimentação dentro de um edifício (YAN *et al.*, 2022). Ewart e Johnson (2021) explanam a viabilidade destes métodos, demonstrando que a ação das escolhas das rotas de evacuação dos usuários durante um processo de análise de comportamento, foram semelhantes entre um edifício real e um edifício virtual idêntico.

Morad *et al.*, (2020) explana que existe um desenvolvimento prospero de pesquisas relacionadas aos modelos cognitivos que buscam o entendimento do comportamento de *wayfinding* dos usuários, com o uso de modelos por meio de técnicas computacionais.

### 2.3.2 Fatores cognitivos para evacuação

Na ciência cognitiva, as questões principais que sustentam o deslocamento das pessoas estão relacionadas a orientação e locomoção, sendo a locomoção referindo a capacidade de se movimentar e a orientação a capacidade da tomada de decisões, a fim tomar a direção para lugares fora do alcance de percepção imediata (MONTELLO *et al.*, 2005). Nessa linha, a função das informações internas, bem como as externas, configuradas para a situação atual do incêndio é imprescindível para auxiliar as decisões de orientação e locomoção (LI *et al.*, 2014).

Em um teste experimental, as informações imperativas e objetivas, ou seja, menos tempo para a interpretação por parte dos participantes, foram mais seguidas, indicando que nem todas as informações e visualizações das informações são



adequadas para uso como auxílio na situação de emergência (PEETERS *et al.*, 2020).

A movimentação humana em uma situação de abandono da edificação é um acontecimento muito complexo em ser compreendido (KOBES *et al.*, 2010), envolvendo uma série de fatores importantes a serem considerados para compreender as situações de segurança de um ambiente específico.

Para Cao *et al.* (2016), que estudou um modelo de evacuação com diferentes teorias, investigando o efeito da orientação das pessoas na evacuação, observou que os brigadistas presentes na edificação, ou seja, as pessoas que são treinadas para o resgate e combate ao incêndio, possuem mais eficiência quando estas pessoas possuem uma identificação diferentes das demais pessoas. Complementando que devem ser dispostos em uma quantidade adequada, com posições estratégicas para cobrir toda a área da edificação em questão, além da própria colaboração entre os brigadistas.

Confrontando os experimentos da Realidade Virtual (RV) aos testes experimentais, são inúmeras as possibilidades de se obter informações relacionadas quanto ao movimento dos ocupantes da edificação, escolhas de rota e saída de emergência, possibilitando o desenvolvimento de meios cognitivos (FENG *et al.*, 2021). Corroborando que os estudos com RV validam fortemente a simulação do desempenho do mundo real, aliada as facilidades de imersão em um cenário desconhecido (LI *et al.*, 2019; NISBET, 2016; ONG, 2018).

### 2.3.3 Realidade virtual aliada a evacuação dos edifícios

A (RV) tem se aliado de diversas formas com a segurança de edifícios, devido a sua capacidade de imersão em 3D na perspectiva do usuário da construção. Com este potencial, tem se a facilidade em proporcionar experiências ainda na etapa de projeto do edifício, para uma possível pré-aprovação do projeto ou até mesmo o treinamento dos ocupantes para conscientizar os possíveis risco de segurança e traçar estratégias em situação de emergência (GUO *et al.*, 2012; WANG *et al.*, 2014; LI *et al.*, 2019).

Figura 28 - Demonstração da navegação em um modelo de Realidade Virtual.



Fonte: Natapov *et al.*, 2021.

Em complemento, também possibilita a obtenção de informações ações cognitivas avançadas, a exemplo do comportamento do olhar e direcionamento da cabeça, que acabam sendo complexas de coletar utilizando os meios práticos tradicionais de evacuação (FANG *et al.*, 2021). Outra questão favorável é a exposição dos usuários aos ambientes de risco sem de fato enfrentar as situações reais, da mesma forma, coletando efeitos comportamentais de cada usuário, informações psicológicas e de movimento (FENG *et al.*, 2022).

Relacionado a navegação em realidade virtual, foram incorporadas funções de navegação nos ambientes internos em 3D fundamentada em BIM, com sistemas de gerenciamento de emergência. Na mesma linha, no trabalho de Wang *et al.*, (2015) incluíram agentes funcionais com determinada abordagem para que descobrissem o caminho das rodas de fuga.

Entretanto, analisando as situações reais de incêndio, os ocupantes dos edifícios adotarão ações distintas em relação a evacuar imediatamente, aguardar o resgate, ou até mesmo se envolver com o combate do incêndio. Estas e demais ações, envolvem muitas outras variáveis sobre o conhecimento do usuário da edificação (CHOI *et al.*, 2014).

Portanto a exatidão e a representação dessas combinações, sem desenvolver o gerenciamento das emergências de incêndio se torna incorreto sem considerar a consciência humana. Ainda, quando se trata de uma multidão de pessoas, as características de cada pessoa, inclui uma gama de variações, como a experiência específica de cada um, domínio de combate ao fogo, questões psicológicas. Assim como as questões físicas, a exemplo da deficiência e idade, esses possuindo uma grande influência nas tomadas de decisões, dos comportamentos finais (BODE *et al.*, 2014).

Adepto ao crescimento dos conhecimentos de novas ideias e métodos, a associação das informações, monitoramento inteligente e otimização de rotas em BIM, oferece requisitos básicos para a gestão em edifícios (SHALABI & TURKAN, 2017). Esses requisitos e resultados de combinações podem ser usados para a prevenção contra incêndio, atuação dos bombeiros em resgate, por meio da localização e otimização das rotas para o resgate e combate ao incêndio.

#### 2.3.4 Resolução de métodos aliados a evacuação dos edifícios

O desenvolvimento tecnológico dos edifícios inteligentes, possibilitou a geração de algoritmos voltados a evacuação que identificam automaticamente através de sinais de rádio, comunicação com dispositivos móveis para a troca de informações, possibilitando até fornecer mapas eletrônicos (RAN *et al.*, 2014; HSIAO *et al.*, 2015).

Na ocorrência de um incêndio, a localização instantânea do foco do incêndio, bem como dos ocupantes da edificação, pode melhorar expressivamente a ação de resgate, evitando os conflitos das chamadas com as rotas de evacuação a serem utilizadas, almejando a redução do período da ação. Para tal, são realizadas simulações com cenário de incêndio, para verificar a efetivação dos efeitos do método, que utilizam algoritmos matemáticos calculáveis, visando a localização precisa (WANG *et al.*, 2018).

Essas ferramentas, por meio de dispositivos eletrônicos pessoais dos usuários, auxiliam a evacuação, pois estão cada vez mais presente no convívio diário, além de possuírem a condição de fornecer informações orientativas em direção as saídas mais próximas, contrárias ao foco do incêndio, diminuindo a possibilidade de sobrecarga de alguma saída de emergência específica (WANG *et al.*, 2015; BANDYOPADHYAY, 2016).

Igualmente, Tang *et al.*, (2019) enalteceram em como a interconexão digital dos objetos cotidianos com a internet (IoT) aliadas aos sensores presentes nas edificações, possuem potencial para indicar os riscos em tempo real, advertindo as pessoas que estão no ambiente interno a evacuem o local. Da mesma forma, utilizaram a tecnologia agregada para indicar a localização das pessoas que acabavam ficando encurraladas para os socorristas. Em complemento, os incidentes que ocorrem nos resgates de pessoas, bem como no combate a incêndios são

causadas, na sua grande maioria por incertezas sobre a dimensão e a propagação do incêndio e a falta de conhecimento sobre o ambiente (CHEN *et al.*, 2018).

Evidenciando que as modelagens de formação das construções em BIM são capazes e um forte aliado a fornecer auxílio para salvar vidas em casos de sinistros, mas também se aliar a outros sistemas como criaram Chen e Huang (2015) que automatizava a comunicação para fornecer os socorristas e evacuados as rotas ideais e seguras para circulação interna.

Na mesma linha, para a determinação em traçar rotas mais curtas aos bombeiros para o resgate em um incêndio, assim como avaliar o seu desempenho durante o resgate, se associou o algoritmo de Dijkstra (BARBEHENN, 1998) para se obter uma rota otimizada, onde é extraído a referência dos nós e arestas dos ambientes e posteriormente é calculado o caminho mais curto entre dois pontos (Chou *et al.*, 2019).

Entretanto, diferente da simulação computacional, a qual acaba sendo necessário a representação do ambiente em questão, para que seja realizado o cálculo de uma rota, em um ambiente real o comportamento de deslocamento e busca pelas informações norteia a descoberta progressiva das orientações ao longo do caminho. Sendo assim, a exploração acaba sendo parcial, conforme ocorre o deslocamento dentro do edifício, estando assim, mais propensos a ações equivocadas, com a possibilidade de mudanças inesperadas de rotas agravado se o edifício for desconhecido (MELGAR *et al.*, 2014; KULIGA *et al.*, 2015; AGUILAR *et al.*, 2019).

Xu *et al.*, (2014) buscaram possibilitar a representação de fumaça apoiado em uma renderização de volume e dinâmica dos fluidos. Em complemento, *et al.*, (2018) expressaram uma maneira para a interação de um modelo BIM entre um modelo computacional de dinâmica dos fluidos, buscando possibilitar a reconstrução do comportamento da propagação das chamas, para que fosse possível criar uma cena de incêndio realística.

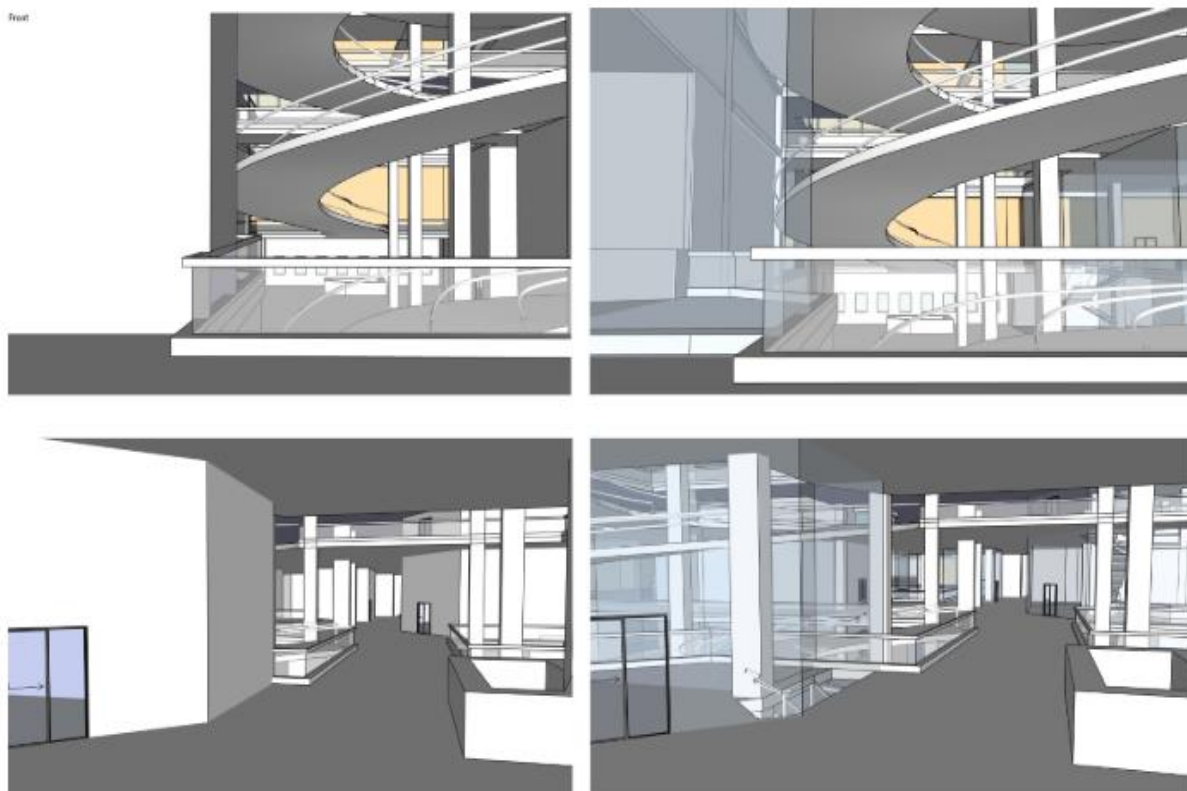
A complementação entre métodos pode revolucionar os procedimentos de resgate e evacuação, por meio de sistemas que simulam a progressão das ações dos bombeiros em um resgate (SHI *et al.*, 2018). Complementarmente, Wu *et al.* (2016), utilizaram a capacidade do BIM para realizar a simulação da propagação de fumaça nos ambientes internos, possibilitado pelo armazenamento das propriedades de cada componente, bem como as relações entre os componentes. Com essas

informações, os bombeiros tem a possibilidade em direcionar as equipes e determinar o tempo de *flashover* embasado no resultado da simulação do FDS e na previsão de incêndio do modelo 3D (SHI *et al.*, 2018).

Outro aliado importante em consonância aos métodos tradicionais de treinamento de salvamento e resgate é o método proposto do SHI *et al.* (2021), voltado ao treinamento mental de *wayfinding*. Diferentes dos repetitivos leiautes de treinamento tradicionais, por meio da RV pode gerar inúmeras rotas com diferentes condições e características construtivas, proporcionando a experiência da desorientação em um ambiente desconhecido. Com este meio é possível realizar treinamento com bombeiros para aguçar seus conhecimentos e exercitar treinamentos para a busca de vítimas, bem como monitorar o desempenho de evacuação (SHI *et al.*, 2021).

Examinando as características arquitetônicas que influenciam a orientação em situações de evacuação Natapov *et al.* (2022), por meio da experiência das pessoas com a RV verificaram a influência da transparência de paredes específicas ao longo de corredores no projeto arquitetônico (Figura 29).

Figura 29 – Comparação dos espaços internos com a transparência das paredes



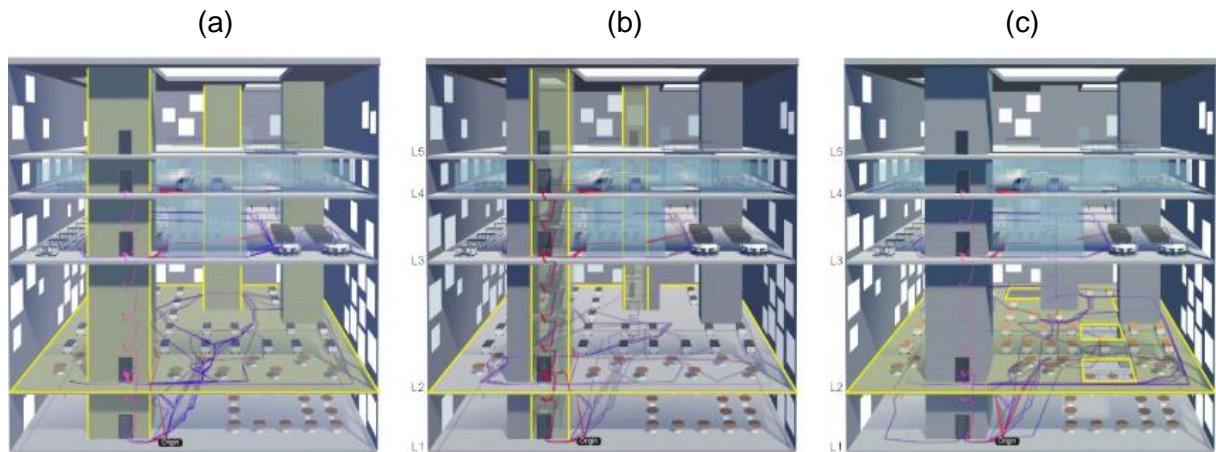
Fonte: Natapov *et al.*, 2022.

Constatando que a visibilidade interna é melhorada, mas os resultados expuseram que não possui importância significativa na sinalização de emergência, sendo esta análise divergente das pesquisas anteriores que advertem sobre a visibilidade geral e o acesso visual, sendo determinantes da veemência da recordação espacial e desempenho de orientação (FISHER-GEWIRTZMAN, 2018; FISHER-GEWIRTZMAN, 2019; WANG *et al.*, 2014).

Em complemento, desconsiderando a visibilidade das paredes, o estudo expõe que os pontos de partida na evacuação têm maior impacto na distância percorrida, indo de acordo com trabalhos que integraram a influência do leiaute arquitetônico em relação a navegação, apontando que a visibilidade de lugares estratégicos tem impacto na validação de uma rota segura e eficaz (NILUFAR & CHOITI, 2019; TIANFU *et al.*, 2017). Portanto, a visibilidade em relação ao ponto inicial de partida das pessoas, possuem influência positiva na escolha da direção, auxiliando a decisão inicial para encontrar especificamente as escadas, consideradas as características predominantes de procura (NATAPOV *et al.*, 2022).

Morad *et al.*, (2020) analisaram a distribuição espacial das trajetórias dos participantes para cada cenário, observando variações entre as condições de construção, explanando que alterações arquitetônicas tiveram um efeito substancial no comportamento dos participantes em um determinado espaço. Essas variações incidiram diretamente no grau de visibilidade dos usuários da edificação, balanceadas na introdução de átrios e a transparência de algumas superfícies nos andares.

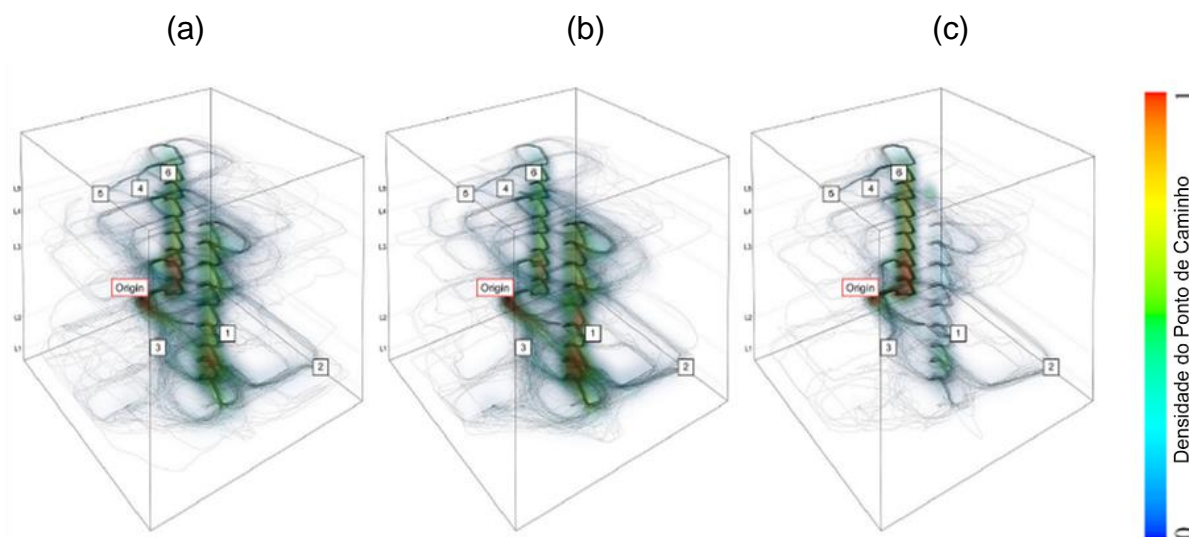
Figura 30 – Três cenários de arquitetura sendo (a) tipologia convencional de referencia, (b) com variação para vidro no fechamento das caixas de escadas e (c) com aplicação de átrios.



Fonte: Morad *et al.*, 2020.

Analisando a tentativa de representação de agentes cognitivos para simulações com Realidade Virtual e comportamentos reais de humanos, principalmente a relação da procura por caminhos pelas quais as pessoas se orientam para se deslocar dentro de um espaço. Percebendo que no modelo proposto, os agentes possuíram maior influência quanto a variabilidade arquitetônica, havendo um desempenho melhor na busca por rotas em relação ao comportamento humano.

Figura 31 – Rotas dos participantes humanos amostrados no experimento de RV, com estimativa de densidade (a) tipologia convencional de referencia, (b) com aplicação de átrios e (c) com vidro no fechamento das caixas de escadas e



Fonte: Morad *et al.*, 2020.

Através destes experimentos da realidade virtual, criaram uma interação entre os fatores humanos das movimentações interna em situações de emergências e projeto arquitetônico, quanto a influência da existência de paredes internas, pontos de partida e referência arquitetônicas.

Os resultados expuseram uma correlação entre o comportamento de *wayfinding* dos participantes e dos agentes cognitivos, em relação ao aumento da experiência visual interna nas edificações de grande patamar, expondo uma influência negativa pelas mudanças arquitetônicas propostas em um edifício de vários níveis. A inclusão de um átrio ou a presença de parede de vidro influenciaram as medidas de desempenho da orientação, quanto a distância percorrida para encontrar um destino. Tais verificações podem informar nas diretrizes preliminares do projeto, com intuito de reduzir impactos negativos associado a localização dentro da edificação (MORAD *et al.*, 2022).

Esta consideração é principalmente delicada nos edifícios complexos, como hospitais, museus e centros de transporte, agravada quando envolve a mudança de pavimento e mudanças de sentido pela maior possibilidade de desorientação (KULIGA *et al.*, 2019).

Analises experimentais indicam que nem todas as fontes de informações são dadas como seguras e adequadas para auxiliar uma pessoa na tentativa de evacuar um prédio (PEETERS *et al.*, 2020). O autor também observou que as informações



que não são evidentes passam a ser ignoradas, se valendo apenas da informação imperativa, com setas indicando o caminho. Mesmo assim, acesso visual foi considerado como o fator mais valioso no apoio à orientação (TIANFU *et al.*, 2017).

No instante que os usuários se deparam que a informação poderia estar equivocada para aquela situação, os participantes optaram por alterar a orientação para uma saída mais segura (PEETERS *et al.*, 2020). Novamente evidenciando a importância da possibilidade de mais de uma saída nos edifícios e construções verticais.

A procura por destinos que não estão tão evidentes durante a evacuação e caminhos mais prolongados em edifícios de grandes dimensões, aponta-se para a maior dificuldade dos usuários em relação a orientação e tomada de decisões em situações de emergência do que em condições normais (CAO *et al.*, 2019; LIN *et al.*, 2019; YAN *et al.*, 2022). Em complemento, as mudanças de direções na visão dos usuários foram mais intensas durante a evacuação para encontrar uma saída, se deslocamento mais lentamente (ZHANG *et al.*, 2021; YAN *et al.*, 2022).

Segundo Peeters *et al.* (2020), trabalhos futuros devem desenvolver uma técnica para redirecionar o público para uma saída B em caso da saída A estar comprometida ou em risco aos usuários, por meio da orientação digital, ou gestão da orientação de acordo com a localização do fogo. O grande desafio é tornar o sinal ou a orientação ser absorvido para a evacuação para a saída mais segura, com o uso do BIM poderia fornecer informações aos evacuados, com auxílio de sensores para redirecionar as pessoas.

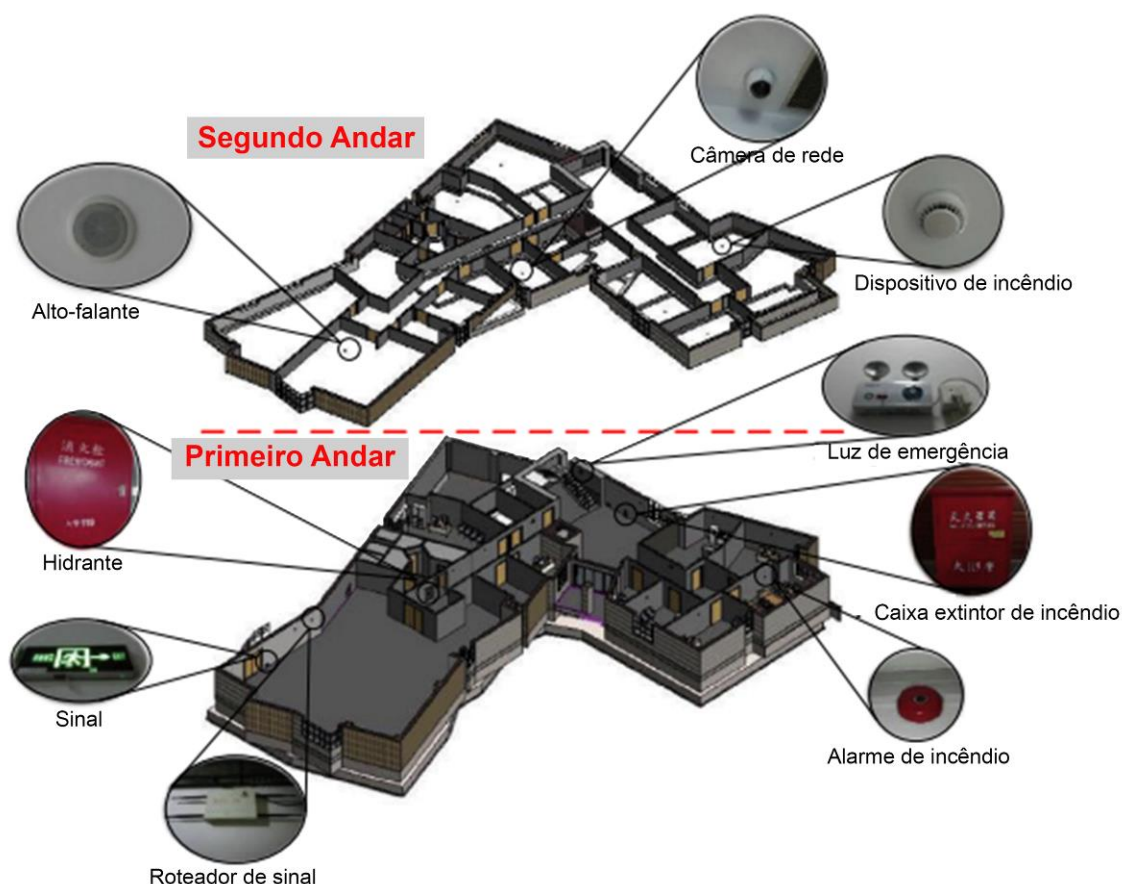
As revelações destes estudos podem servir de referência para futuras pesquisas sobre os agentes cognitivos e avançar na capacidade da simulação do comportamento das pessoas para prever os impactos dos elementos do projeto arquitetônico em edifícios complexos e de vários níveis (MORAD *et al.*, 2022).

### 2.3.5 Métodos com Integração da tecnologia de detecção e evacuação

As metodologias de modelagem dos ambientes agregam informações geométricas e intrínsecas dos elementos construtivos, se tornando uma vasta gama de informações para auxiliar no gerenciamento da edificação ao longo da sua vida útil (EASTMAN *et al.*, 2011).

Ainda que possua os dados sobre o tipo de material e a existência de materiais combustíveis inerentes a chama na edificação, se tem a necessidade de outras informações em tempo real geradas por detectores, sensores, posição dos componentes de proteção passiva e ativa, localização e informações de acessibilidade, entre outras, para uma ação eficiente dos brigadistas e bombeiros em uma situação de emergência (TASHAKKORI *et al.*, 2015).

Figura 32 - Layout com instalações para o gerenciamento de emergência do incêndio.



Fonte: Adaptado pelo autor de Ma *et al.* (2020).

Para possibilitar a interoperabilidade entre as diversas plataformas surgiu o IFC (*Industry Foundation Classes*), como um formato de arquivo padronizado que contém informações avançadas dos elementos construtivos, com atributos que outros modelos que não possuíam até então (ISIKDAG *et al.*, 2013). Estas ferramentas utilizam bibliotecas informativas abertas, concebendo modelos e dados implementando a integração de dados quanto a arquitetura das construções (KANG *et al.*, 2015).

Entretanto, os arquivos padrões carregam muitos dados arquitetônicos e com gerenciamento complexo para serem utilizados no formato normal quanto as situações de emergências (TASHAKKORI *et al.*, 2015). Desta forma, o autor propôs uma modificação dos arquivos para diminuir a complexidade, formando um conjunto de informações internas facilitada para o gerenciamento de emergências, tanto no auxílio dos bombeiros quanto aos administradores da ocupação, melhorando a orientação interna dos edifícios (ISIKDAG *et al.*, 2013; TASHAKKORI *et al.*, 2015).

Ponderando a insuficiência de modelos em BIM para desenvolver especificamente a consciência situacional das partes internas dos edifícios, bem como seu entorno em situações de emergência, Kang *et al.*, (2015) utilizaram a sofisticação de comunicação dos softwares para associar ao BIM uma plataforma de integração geográfica (GIS), com intuito de possuir informações de coordenadas internas. Em complemento, Tashakkori *et al.*, (2015) propôs um modelo voltado para auxiliar os socorristas em situações de emergência, contendo avanços para eliminar as complexidades adversas e necessidades de conhecimento para navegação em 3D dos caminhos internos.

Para evitar erros na localização de socorristas e usuários presos durante o incêndio por alguma possível falha de sensor ou que foi avariado pelo incêndio, Li *et al.*, (2014) desenvolveu um algoritmo baseado em BIM com sinalizadores de radiofrequência (RF) que fornece um plano otimizado, melhorando a precisão do posicionamento. Este sistema utiliza quaisquer dispositivos que possuem RF, mas principalmente celulares, para a comunicação com o sistema. Visando a melhor aplicabilidade da previsão do posicionamento espacial, se criou um sistema automático para o posicionamento por meio da RF, aliado ao sistema de computação em nuvem e de visualização BIM.

Os modelos desenvolvidos para se aliarem a segurança contra incêndio das edificações essencialmente procuram aperfeiçoar a geração de alerta e percepção dos socorristas, procurando reduzir os tempos tanto de evacuação, quanto do resgate, através da compreensão de localização e a busca pela otimização rotas. (TASHAKKORI *et al.*, 2015; KANG *et al.*, 2015; PARK *et al.*, 2017).

O BIM, aliado a identificação automática por radiofrequência (RFID), conciliada a interconexão digital de objetos cotidianos (IoT) possibilitam diversos meios alternativos para se desenvolver sistemas voltados ao resgate e evacuação de pessoas em situação de incêndio, simulações com previsão de situações,

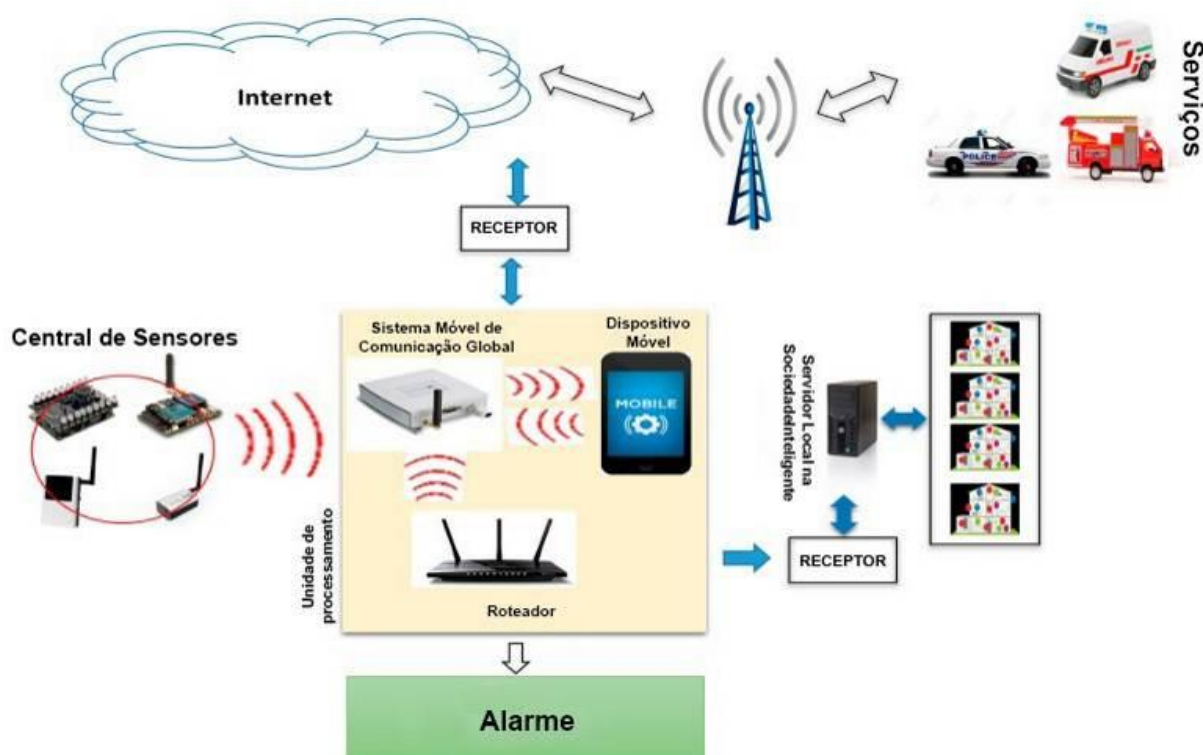
potencializando consideravelmente a possibilidade de sobrevivência (XU *et al.*, 2014; LI *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2018).

Desse modo, se aliou o BIM como uma ferramenta de sistemas de gerenciadores de bancos de dados, que pode ser utilizada para o gerenciamento dos riscos, bem como das emergências, combinado com rede de sensores e detectores e até mesmo monitoramento por vídeo em tempo real (PARK *et al.*, 2017). Esta associação passa a funcionar como um gerador de dados e plataforma central, possibilitando que outras ferramentas ligadas ao BIM voltadas a análise de risco possam vincular as suas informações, as quais podem ser utilizadas interativamente em investigações e vigilância (MORAD *et al.*, 2022).

Essas percepções norteiam questões voltadas a circulações internas, visualização em 3D da edificação e dos ambientes internos e externos da mesma, informação das especificações do edifício, comunicação com usuário para o fornecimento de informações em situações de emergência, entre outros (TASHAKKORI *et al.*, 2015; SAEED *et al.*, 2018;).

O sistema proposto por Saeed (2018) utiliza o Sistema Global de Comunicações Móveis (GSM) para a associação do dispositivo móvel com a central de alarme inteligente, que analisa as informações recebidas dos sensores de fumaça, gás e calor, intercala os parâmetros em estágios e avisos prévios e alarme, conforme projeção gradual do acionamento dos sensores (Figura 33). O alerta passa a ser compartilhado pela internet para uma central, que simultaneamente compartilha com as pessoas envolvidas e com o sistema de armazenamento online, direcionando o alerta para as entidades competentes de resgates.

Figura 33 - Estrutura de modelagem inteligente baseada em IoT de residência inteligente para a prevenção de incêndio.



Fonte: Adaptado pelo autor de Saeed *et al.*, (2018).

Por meio de simulações Chen *et al.*, (2019) obteve resultados de uma rede de sensores de fumaça que revelaram um algoritmo para o planejamento de rotas de resgate, em paralelo com um sistema de orientação das rotas em 3D por meio da comunicação em *Bluetooth*. Possibilitando a alternância de caminhos instantaneamente de acordo com as condições e adversidade durante a evacuação e propagação do incêndio, tornando a orientação mais eficiente do que o método de sinalização atual, mesmo direcionado para as rotas de fuga, pode orientar para o sentido do fogo (PEETERS *et al.*, 2020).

Este método de resgate procura fornecer informações para todas as pessoas que poderão ser afetadas pelo incêndio, procurando evitar a mitigação do pânico, pois as pessoas envolvidas receberiam informações pertinentes para a evacuação. E ao mesmo tempo todas as equipes de resgate voltariam as ações nos ambientes que estariam sendo atingidos pelas chamas (CHEN *et al.*, 2019).

Tashakkori *et al.*, (2015) explanou que uma plataforma digital possibilita a simplificação do acesso, proporcionando aos socorristas e os brigadistas a fácil visualização por meio dos navegadores da web, bem como dispositivos móveis,

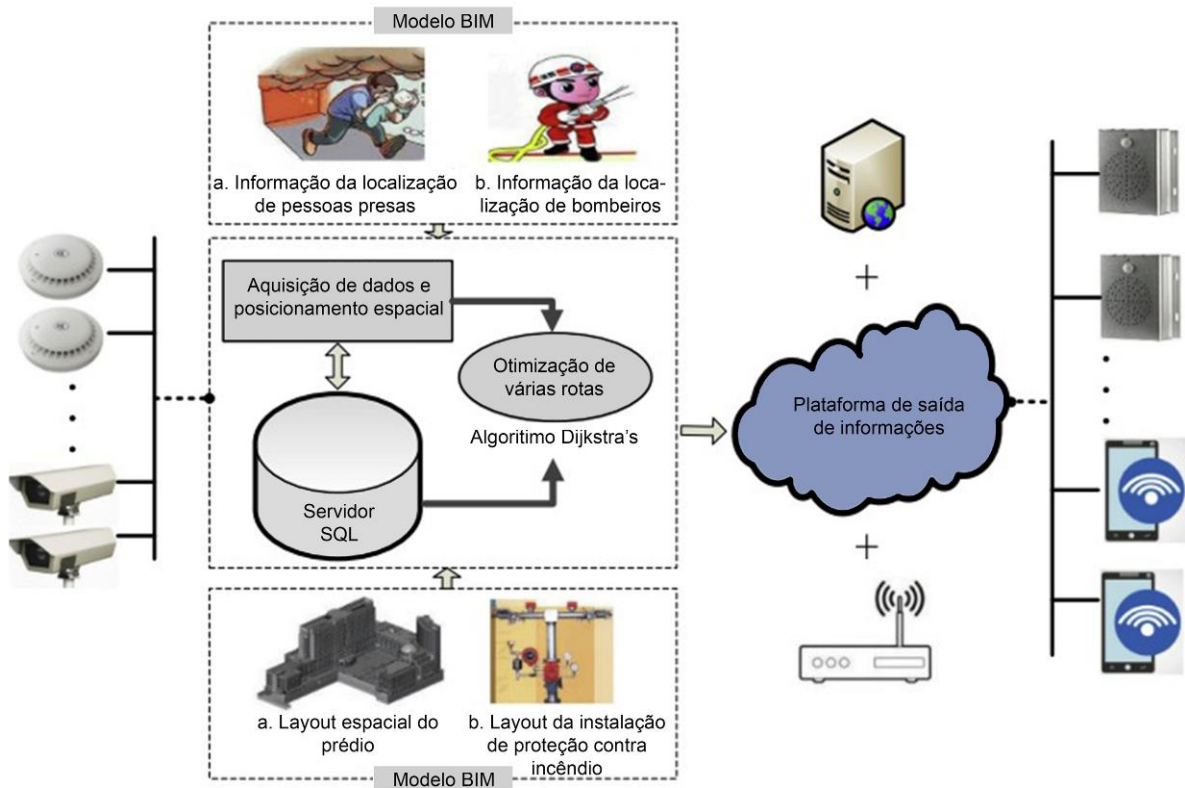
cumprindo uma função relevante na usabilidade. Essa integração de informações daria condições aos socorristas em iniciar as ações imediatamente ao chegarem no local, devido a antecedência das informações e condições da edificação.

Outro método de posicionamento utilizando o telefone celular para a localização do usuário é por meio da conectividade digital via *Wireless Fidelity* (WI-FI). Este método possui a capacidade de captar a localização do telefone móvel na edificação para encontrar a localização dos respectivos usuários. Contudo, as informações fornecidas pela conectividade necessitam ser atualizadas conforme o acesso de pessoas na edificação, para que em uma situação de incêndio o celular do usuário se conecte com o sistema (KESER *et al.*, 2018).

A abordagem dos comportamentos das pessoas nas simulações computacionais fornece informações de agentes cognitivos fundamentais que passam a ser utilizados nos sistemas de gerenciamento de segurança, simplificando os processos de orientação (CHU *et al.*, 2014; SCHYNDEL *et al.*, 2016; SCHAUMANN *et al.*, 2019).

Voltando a aplicabilidade do desenvolvimento de gerenciadores de emergências em situações de incêndio, de acordo com Ma *et al.* (2020), é preciso levar em consideração as possíveis decisões quanto ao comportamento das pessoas, combinando com módulos de resposta as situações de emergências. Para tal, em seu sistema de gerenciamento (Figura 34), o autor levou em consideração o comportamento relacionado a fuga, espera por resgate ou combate às chamas.

Figura 34 – Método para otimização de rotas conforme diferentes decisões de comportamento

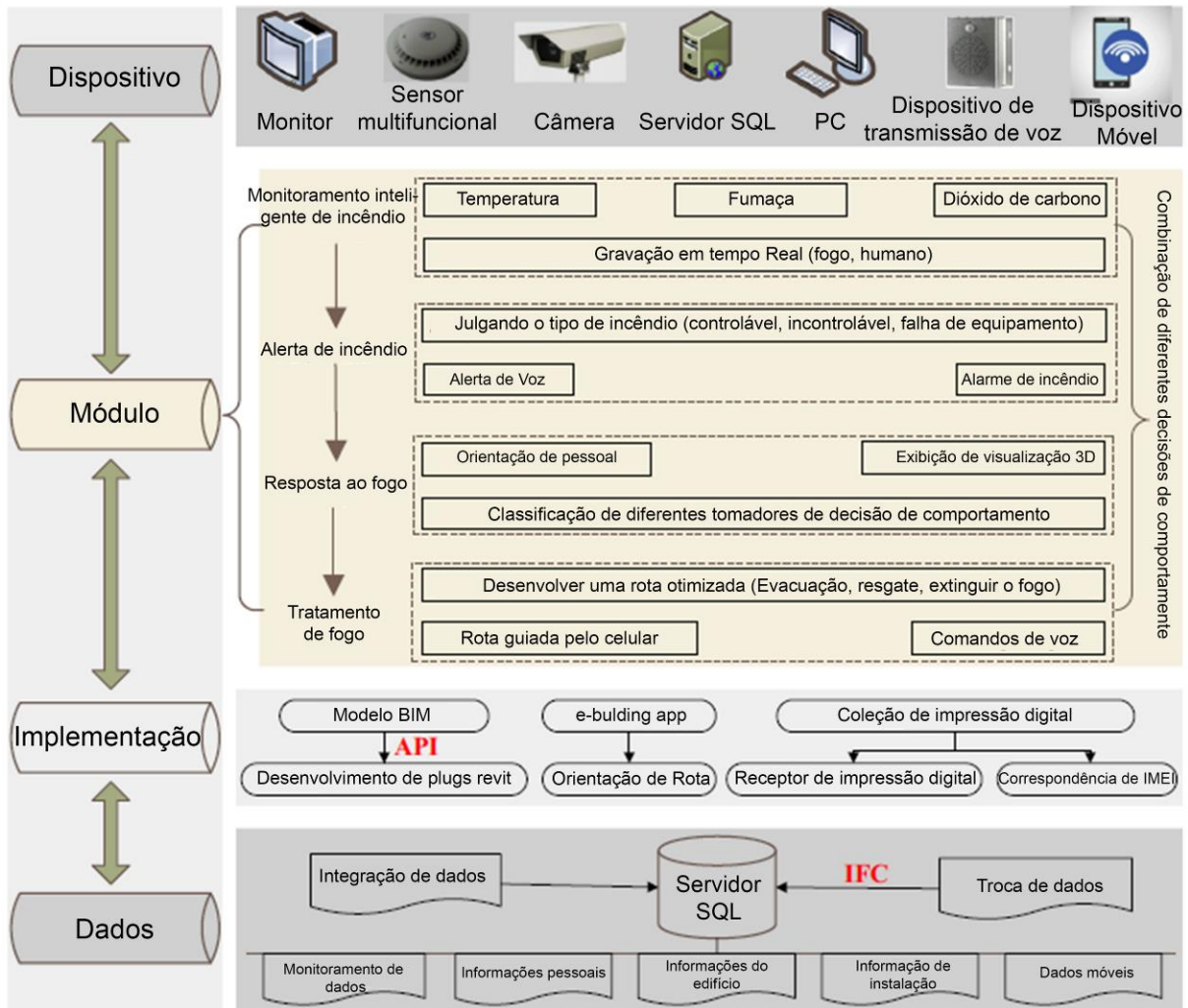


Fonte: Adaptado pelo autor de Ma *et al.*, (2020).

Este, associado ao sistema de monitoramento de incêndio, com capacidade da localização e determinação da sua magnitude, bem como a natureza da combustão, a geração do alerta do incêndio de acordo com sua magnitude, possibilitando o alerta comandado por voz ou sonoro. Bem como, a capacidade de localização dos usuários e planejamento de rotas de acordo com o comportamento, assimilado ao fornecimento da visualização da rota por aplicativo móvel (MA *et al.*, 2020).

Para tal, autor desenvolveu uma estrutura, para o gerenciamento de emergência de incêndio, voltada para quatro modelos funcionais, sendo eles o monitoramento inteligente por vídeo, detecção e alerta do incêndio, estratégias para imediata resposta a emergência e o combate do incêndio em conjunto. Nessa coordenação proposta, o BIM passa a ser gerido como plataforma para abreviar as necessidades de ações dos usuários do edifício quanto as diferentes decisões de comportamento. Com base no princípio de tempo real, dinâmica e precisão, desenvolvemos uma estrutura de gerenciamento de emergência de incêndio, conforme mostrado na Figura 34.

Figura 35 - Sistema de gerenciamento de emergências contra incêndio



Fonte: Adaptado pelo autor de Ma *et al.*, (2020).

Os detectores e as redes de vigilância por vídeo, com monitoramento em tempo real, em uma situação de emergência, podem ser determinantes na percepção da dimensão do incêndio e se é controlável pelas técnicas passivas e ativas de prevenção presentes na edificação. Aprimorando a eficiência dos sistemas de alarme de incêndio, extinguindo a possibilidade de falsos alarme causados pela falha do dispositivo ou pela superficialidade do sensor (MA *et al.*, 2020).

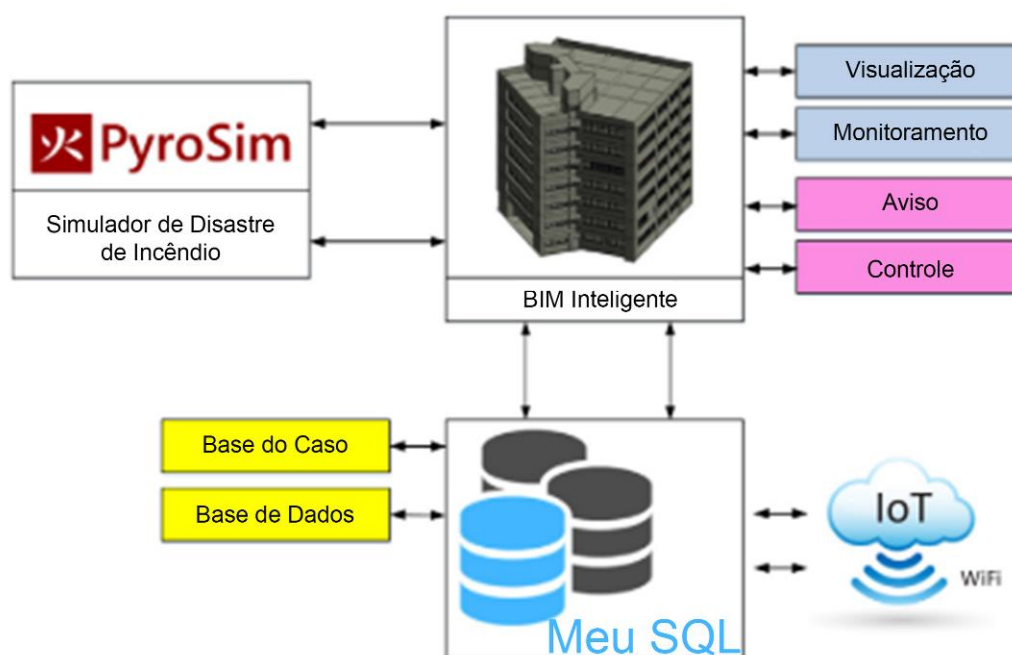
A relação do BIM com a geração de informativos em tempo real dos dispositivos inteligentes, proporciona um paradigma importante de fluxos de dados do conjunto de redes de sensores IoT aos modelos BIM de alta fidelidade, fornecendo inúmeras possibilidades de aplicações, permitindo o monitoramento, comunicação e colaboração em tempo real (DING *et al.*, 2018).



Em uma situação de incêndio, o sistema (Figura 36) proposto por Chen *et al.*, (2018) pode revolucionar a metodologia tradicional do gerenciamento de segurança, com a integração do IoT ao BIM. Ele fornece quatro funções principais relacionadas com o monitoramento por câmeras internas, leitura do nível de temperatura e concentração de monóxido de carbono, dispositivo de alarme de incêndio, associada as simulações computacionais através do *Software PyroSim*.

Essas simulações antes da ocorrência do incêndio, permite a verificação do comportamento da propagação das chamas de acordo com a contribuição de cada material combustível presente na edificação, associada a diferentes cenários e posição das chamas.

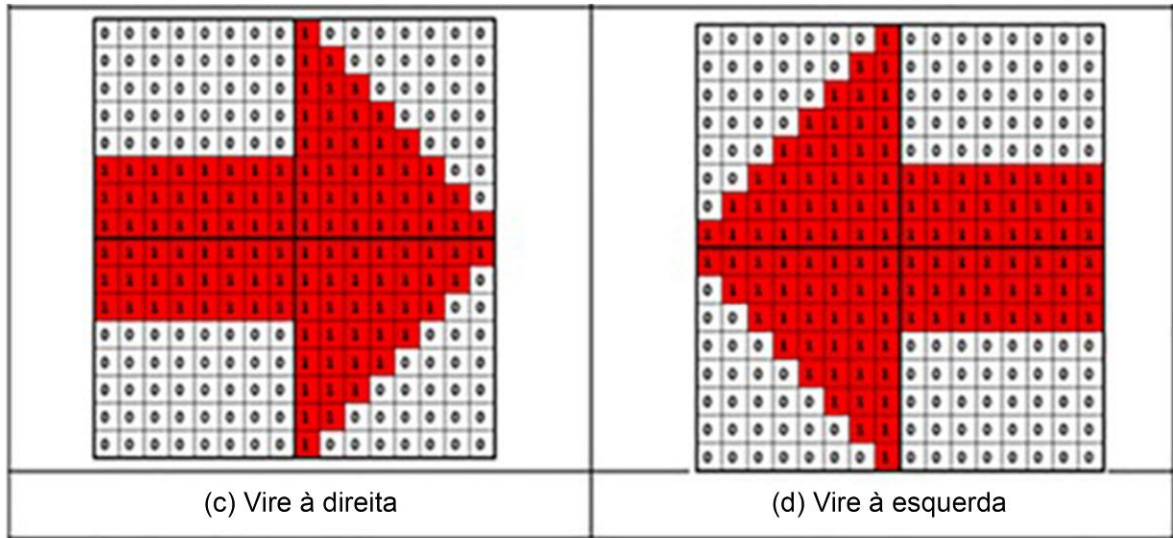
Figura 36 - Estrutura para o sistema de visualização e alerta baseado em BIM



Fonte: Adaptado pelo autor de Chen *et al.*, (2018).

As simulações são armazenadas em um banco de dados, a qual os gerenciadores do incêndio podem tomar uma decisão com embasamento técnico para traçar rotas confiáveis, conforme a posição do foco do incêndio e transmiti-las aos usuários da edificação realizando a alternância da indicação da rota de saída nos dispositivos inteligentes de sinalização de emergência (CHEN *et al.*, 2018). Estes dispositivos de sinalização tradicionais, passam a ser substituídos por painéis controladores de guia em LED (Figura 37) para apresentar alertas de perigo e orientação de evacuação de acordo com o sentido desejado.

Figura 37 – Proposta sistemática para a sinalização de emergência interativa



FONTE: Adaptado pelo autor de CHEN *et al.*, (2018).

Inúmeros edifícios possuem seus acessos liberados pela identificação, essa podendo ocorrer através na comunicação por meio do WI-FI para reconhecer a identidade da pessoa e permitir o acesso ao local, possibilitando o monitoramento com envio de mensagem de avisos e alertas de emergências e sua respectiva localização dentro do edifício.

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa neste estudo com proposta exploratória está direcionada a difundir os conhecimentos dos sistemas que promovem a segurança aos usuários das grandes edificações, elencando de forma qualitativa novos métodos e sistemas para melhorar a eficiência do gerenciamento da segurança contra incêndio.

Esse possuirá seu escopo voltado aos critérios que tangenciam a evacuação das edificações, sistema de detecção e alarmes. Em domínio desses conceitos, se objetivou em uma contextualização dos estudos da influência comportamentais dentro da engenharia de segurança contra incêndio.

O desenvolvimento dos tópicos abaixo buscou avaliar de forma sistêmica a relação com a percepção da situação, avaliação do risco, possíveis comportamentos e ações tomadas, para posteriormente realizar uma compilação dos possíveis avanços e sugestões a serem considerados para uma melhoria da segurança dos usuários nas edificações, aliado aos avanços da interoperabilidade do BIM.

Para tal, foi proposto uma análise dos pontos cruciais dos sistemas atuais da segurança contra incêndio por meio de uma pesquisa exploratória, analisando as considerações de legislações de prevenção contra incêndio, bem como os riscos de incêndio não prescritivos para os projetos arquitetônicos.

Considerando os avanços de desenvolvimento que o BIM vem trazendo para a área da Arquitetura, Engenharia Civil e Construção (AEC), os profissionais envolvidos no setor carecem de informações dos cenários de emergência atual sobre a interação das informações fornecida pela metodologia BIM com dispositivos inteligentes.

Essa tecnologia está sendo consolidada sobre vários aspectos, porém pouco utilizada para o gerenciamento da segurança contra incêndio, especificamente, dentro das ações de bombeiro, com a comunicação e orientação dos usuários e associação com a possibilidade de informações dinâmicas de sensores de incêndio e fumaça. Contudo, os estudos ainda são elementares quanto a consolidação da utilização do BIM e atualmente as normas nacionais não consideram prescrições quanto a metodologia de gerenciamento que deve ser adotada quando se pretende tornar um edifício mais seguro com a integração de tecnologia em BIM.

Discutido os meios da interoperabilidade dos sistemas que estão envolvendo a compreensão do comportamento dos usuários da edificação, monitoramento de emergência, assim como métodos para auxiliar a evacuação segura, por meio de dispositivos inteligentes. As tendências apresentadas alimentarão a realização de simulações prévias de instalações, aspectos arquitetônicos, buscando fomentar a ampliação do gerenciamento de segurança contra incêndio, buscando agregar na tomada de decisões quanto a impactos no planejamento da arquitetura e infraestrutura da edificação.

Desta forma, a pesquisa segue as etapas descritas a seguir, com a finalidade de obter conhecimento voltados aos sistemas utilizados nacionalmente na construção civil.

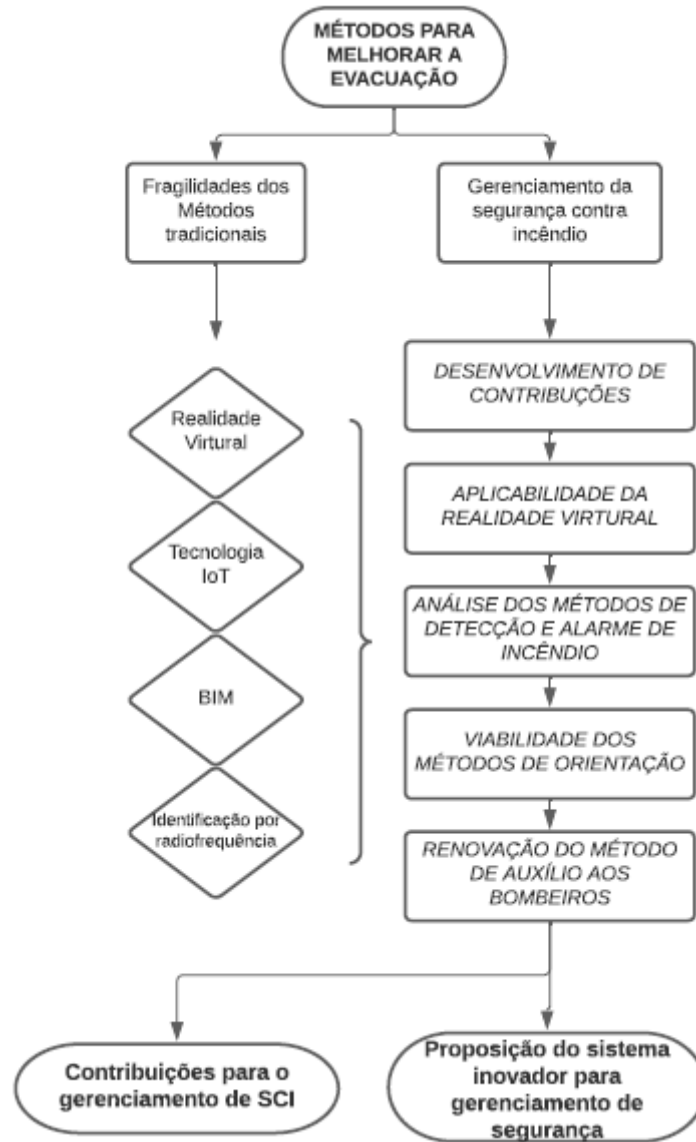
### **3.1 Resumo das etapas experimentais**

O intuito da estrutura proposta, de forma exploratória, buscou elencar as fragilidades dos métodos atuais que tangenciam a detecção e alarme de incêndio, as formas e métodos de orientação de salvamento e a interação com a equipe de resgate. Estas questões foram nutridas pela contribuição dos trabalhos existentes quanto as etapas que envolve o aprimoramento da garantia da saída segura nos edifícios.

Desta forma, a indagação das pesquisas abordadas remediou considerações plausíveis quanto ao aprimoramento dos critérios norteados pela evacuação em edificações de altura elevada, sendo algumas voltadas a análises de métodos existentes e outras decorrentes da constante evolução da tecnologia, com trabalhos englobando análises práticas, teóricas e simulações computacionais

Para tal cumprimento do programa experimental desse estudo, foi proposta uma divisão em etapas, de acordo com a Figura 38, para que fossem estruturadas considerações aos critérios voltados a segurança contra incêndio e a proposição de desenvolvimentos dos métodos atuais de sinalização de emergência, gerenciamento das emergências, detecção e alarme de incêndio.

Figura 38 - Resumo do plano experimental proposto



Fonte: Elaborado pelo autor

## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 Desenvolvimento de contribuições

É evidente a contribuição que a integração promovida pelo BIM trouxe para a área da AEC no quesito produtividade. Entretanto, essa tecnologia aliada ao gerenciamento da segurança contra incêndio dos edifícios ainda é muito incipiente, frente ao potencial de informações dessa integração.

Um exemplo magnífico deste potencial é a capacidade de percepção prévia em possuir o conhecimento dos materiais empregados em uma edificação ao longo da concretização do projeto, antes mesmo dela existir. Possibilitando a previsão dos riscos nas etapas das aprovações dos projetos, as possíveis propagações das chamas por meios internos e externos, assim como o refinamento das medidas de segurança contra incêndio para cada situação (SHI *et al.*, 2017).

Ainda, este rastreamento dos materiais empregados na edificação, além dos elementos passivos de proteção, que garantem a compartimentação, como salientados nos capítulos anteriores. Além da fase de desenvolvimento da edificação, poderiam ser monitoradas ao longo da vida útil da edificação com a integração do BIM de alguma posição intervenção, a exemplo da quebra da barreira de compartimentação (PISSARRA, 2014).

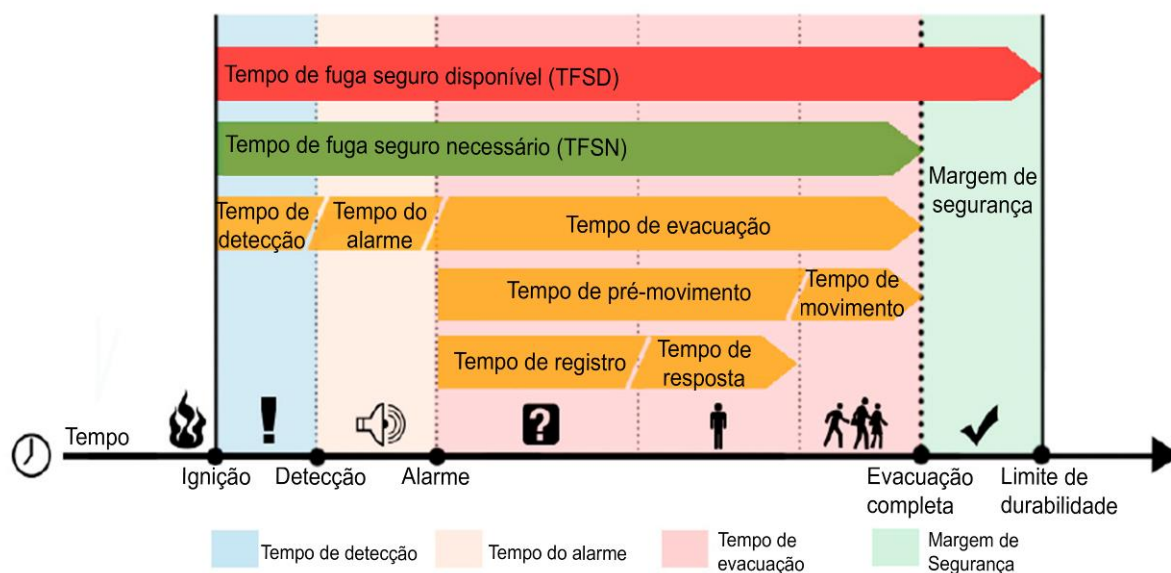
De acordo com GAO *et al.*, (2019), a maior parte da parcela das publicações propõe um sistema, estrutura ou abordagem inovadora, dentre esta parcela, grande parte utilizam estudos de caso ou experimentos para validar os sistemas propostos, e outra parcela menor buscam adicionar conteúdo com à integração do BIM aliadas a outras tecnologias, como Realidade Virtual, Identificação por Radiofrequência, Sistema de Informações Geográficas (GIS), entre outros.

Através deste processo de revisão, foram percebidas algumas lacunas voltadas a interoperabilidade dos sistemas com comunicação em BIM com os dispositivos inteligentes, estipulação dos princípios e objetivos de um sistema de gerenciamento de segurança, e melhoramento da eficiência dos sistemas, assim como a confiabilidade do método proposto, além da questão de retorno financeiro.

Analisando os métodos, basicamente o gerenciamento de emergência visam a eficiência em relação ao tempo necessário para cada etapa de uma evacuação (Figura 39), desde a detecção, alarme e término da evacuação. Sendo que dentre

este período de cada etapa, existem inúmeras questões relacionadas a edificação, comportamento pessoal, entre outras inúmeras variáveis, sendo está lacuna preenchida pelo gerenciamento.

Figura 39 – Definição dos processos de evacuação



Fonte: Adaptado pelo autor de Lorusso *et al.*, (2022).

Para tal, a complementação com a revisão de análises dos comportamentos dos usuários nas edificações sobre diversas perspectivas de obtenção de informações, dentre eles métodos mais antigos já difundidos até métodos com novas tecnologias associadas ao BIM e Realidade Virtual, se tornam a base para dos dispositivos inteligentes a serem utilizados.

De acordo com Feng *et al.*, (2021) há três divisões de metodologia frequentemente adotadas dentro elas as observadas em campo, experimentos controláveis e métodos de levantamento.

As observadas em campo trata-se do monitoramento das escolhas das pessoas em ambientes reais, os quais incluem situações normais e de emergência, registrando as informações de deslocamento e decisões da forma mais cautelosa possível para não ocorrer influências. As técnicas tradicionais norteiam a utilização de gravações de vídeo, contagem manual, entre outras, enquanto que as de monitoramento envolvem a utilização de sensores digitais, detecção por câmeras, sensores Bluetooth/Wi-Fi, rastreadores GPS, dados de telefones móveis e rastreadores, conforme mencionado na revisão bibliográfica.

Os experimentos controlados consideram as movimentações sob uma condição controlada com uma condição experimental temporária, desenvolvida para aquela situação em específico, para simular situações reais ou isolar variáveis de comportamento, todas voltadas ao entendimento do comportamento das pessoas.

Os métodos de pesquisas consistem basicamente em respostas de questionários com pessoas condicionadas a cenários hipotéticos, bem como as que passaram por experiências reais.

Figura 40 - Uma visão geral do número de estudos que caracterizam diferentes tipos de comportamento de pedestres.

		Observações de campo		Experimentos controlados			Métodos de pesquisa	Resumo	
		Técnicas tradicionais	Técnicas de monitoramento	Condições da vida real	Evacuações na vida real	Experiências de RV			
Comportamento de nível operacional	Interação com pedestre	Comportamento de prevenção de colisões	0	0	9	0	3	0	12
		Comportamento de Multidão	7	0	1	2	0	2	12
		Acompanhando o comportamento	0	0	0	2	2	2	6
		Interação com informações	0	0	0	5	3	0	8
		Interação com objetos	0	0	1	3	5	0	9
		Movimento pelos espaços	18	13	24	10	2	0	66
Comportamento de nível tático	Opção de saída	Interação com pedestres	0	0	0	5	2	5	12
		Interação com informações	2	0	1	4	9	3	19
		Interação com pedestres	0	2	0	6	6	5	19
	Escolha da rota	Interação com objetos	0	2	1	1	0	1	5
		Interação com informações	1	2	0	3	10	4	20
		Interação com espaços	0	5	0	1	1	2	9
Comportamento de nível estratégico		Agendamento de atividades	3	9	0	0	6	0	18
		Escolha de destino	0	19	0	0	6	0	26
		Escolha de atividade	0	8	0	0	4	1	13

Fonte: Adaptado pelo autor de Feng *et al.*, (2021).

Uma área a ser desenvolvida é a aplicação da RV para se obter experiências em determinados ambientes hipotéticos. Esta tendência está fortemente aliada as linhas de pesquisa devido a sua capacidade de investigação em cenários existentes sem que ocorra a mobilização em massa ou qualquer exposição de risco, bem como em projetos de edifícios em desenvolvimento, a conciliação de conhecimento entre usuários e concepções arquitetônicas.

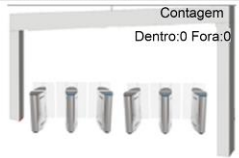
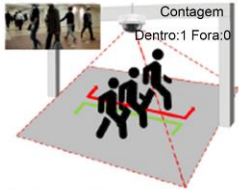
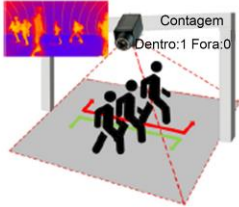



Mesmo assim, os planejamentos inteligentes de rotas, assim como métodos cognitivos ainda estão voltados na busca individual, raramente considerando uma multidão em uma situação de evacuação.

As simulações, uma vez calibrada a modelo, podem ser repetidas inúmeras vezes sem que tenham memórias de deslocamento anteriores que poderiam provocar influência a simulação, distinta dos experimentos reais. Ainda, mesmo que complicado, Dong *et al.*, (2021), Feng *et al.*, (2022), Peeters *et al.*, (2020) conseguiram aprimorar a aplicação da simulação comportamental na RV com modelos reais, através da verificação experimental dos modelos aplicados nos ambientes virtuais, obtendo resultados promissores.

Além dos trabalhos citados, podemos observar lacunas voltadas as observações de campo por meio de monitoramento, visto as tecnologias recentes agregadas aos edifícios. Este monitoramento pode ser alimentado por meio de técnicas de simulações reais sem aviso prévio em edificações complexas e alta escala.

Figura 41 - Resumo das soluções de contagem de pessoas para controle de evacuação de incêndio.

Solução para Contagem de Pessoas	Scanner de Aplicativos	Diagrama de Solução
(a) Sistema de portão giratório	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entradas de edifícios (prédio de escritórios)</li> </ul>	
(b) Contador de vídeo baseado em	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entradas de edifícios (prédio residencial e comercial)</li> <li>Saguões de elevadores</li> <li>Saídas</li> <li>Corredores e áreas comuns</li> </ul>	
(c) Contador térmico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Saídas ( condições de fumaça pesada)</li> </ul>	
(d) Contador de feixe infravermelho	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quartos e áreas de uso privado</li> </ul>	

Fonte: Adaptado pelo autor de Fang *et al.*, 2021.

Outro fator explorável, com o rumo da modernização dos processos, são as tecnologias que estão sendo aliadas ao gerenciamento da segurança contra incêndio, a exemplo da aplicação da tecnologia IoT, comunicação por Rádio Frequência, Meios de localização de usuários nas edificações, entre outros.

## 4.2 Aplicabilidade da Realidade Virtual para Evacuação

Existem diversos estudos aliados ao BIM, alguns deles com a implementação da RV para diversas análises voltada aos aspectos construtivos arquitetônicos e de simulação de evacuação. Considerando a sua capacidade para avaliar projetos construtivos ou construções consolidadas, os projetistas possuem a possibilidade de estudar formas arquitetônicas em estágio iniciais, antes da construção do edifício (KULIGA *et al.*, 2016).

Comumente os estudos de orientação das pessoas acabam ficando a cargo dos projetistas de prevenção contra incêndio após a consolidação da construção, sendo que, em alguns casos, essa forma diminui a capacidade em moldar a arquitetura para melhorar a experiência de evacuação, por meio do reposicionamento das saídas por exemplo.

Essa desunião é expandida nas simulações atuais que preterem os aspectos cognitivos de *wayfinding*, simplificando o processo de evacuação por meio do tratamento da menor distância a percorrer, sem considerar a interação do comportamento de ir e vir, assim como capacidade de deslocamento e obter informações em situações de emergência.

Desta forma, com a tentativa de superar a desconexão entre *wayfinding* e a arquitetura, existe a busca em abordar combinações dos avanços em modelagem cognitiva, conceitos de utilização da RV conciliada ao BIM, para que sejam explanadas evidências e teorias da ciência cognitiva. Associado a esta questão, Morad *et al.*, (2022) apresenta uma referência de modelagem holístico titulado *Cognitive Occupancy Modeling in BIM*, que carrega um modelo padronizado especificamente para a modelagem de *wayfinding* através de agentes cognitivos em BIM.

Mesmo que considerado um marco na modelagem de comportamentos e uma referência, os agentes cognitivos recomendado possuem limitações dos critérios de

orientação, sendo parcialmente representativo dos comportamentos humanos, devido a sua simplificação de conhecimento prévio na busca de uma rota, quando comparada a capacidade real do ser humano os quais contam com estratégias potencialmente mais sofisticadas.

Os modelos arquitetônicos podem, com a tendência da integração do BIM, fornecer regularidade durante o planejamento da edificação. Entretanto, os modelos iniciais não contêm um alto nível de detalhes construtivos voltados aos gerenciamentos da segurança de emergências.

Para tal, com a RV o processo de concepção arquitetônica deve ser acompanhado por um projetista de segurança contra incêndio, possibilitando o desenvolvimento de modelos voltados as análises da experiência de navegação, pois a RV possibilita a imersão realística em 3D na condição de um posterior usuário da edificação (LI *et al.*, 2019). Ainda que com os benefícios citados e referenciados, ainda é preciso preencher lacunas no desenvolvimento da aplicação efetiva da RV na concepção dos projetos.

Primeiramente, é notável poucos estudos desenvolvidos para coletar e analisar comportamentos de orientação de usuários reais em edifícios de vários andares, com exceção de PEETERS *et al.*, (2020). O autor conseguiu realizar o experimento em uma edificação com pavimentos idênticos, devido a etapa de reforma da edificação, a qual se encontrava vazia, após realizou as calibrações com simulações computacionais para obter um modelo teórico. Fazendo adendo, existe edificações de vários andares abandonadas, que permitem tais realizações de simulações, a exemplo do edifício Wilton Paes de Almeida, citado anteriormente neste estudo (Figura 1).

Predominantemente a investigação por meio da RV permanece concentrada no comportamento de orientação em cenários virtuais básicos e demasiadamente analisando movimentos em nível horizontal. Provavelmente pela dificuldade em mobilizar usuários e edificações para as simulações experimentais (CAO *et al.*, 2019; FENG *et al.*, 2019; FU *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2021).

Outro aspecto observado, além da vasta disposição da capacidade tecnológica, é a concentração dos estudos existentes, os quais buscaram analisar primeiramente os comportamentos de movimentos mais tradicionais e objetivos, a exemplo da escolha da rota de fuga e a saída, agilidade no deslocamento (FENG *et al.*, 2021; FU *et al.*, 2021; KINATEDER e WARREN, 2016).

Por outro lado, Zhang *et al.*, (2021) buscou aprofundar as análises com métodos para captura dos pontos de olhar e rotação da cabeça, por meio da RV. Além disso, as diversas complicações para aplicá-la e aprofundar o entendimento do comportamento dos usuários da edificação, poucos estudos buscaram validar seus resultados (FENG *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2019; DONG *et al.*, 2022; FENG *et al.*, 2022).

Figura 42 - Uma captura de tela da visualização do participante durante o experimento, mostrando a tarefa atual.



Fonte: Feng *et al.*, 2022.

É evidente a tamanha complexidade para entendimento do comportamento no ambiente virtual se equiparar ao mundo real, ainda mais conseguir assegurar a validade dos comportamentos cognitivos na RV. Ainda que as simulações aprovam os modelos construtivos e alguns comportamentos mais genéricos, até o momento existem lacunas quanto ao uso da RV para coletar o comportamento em relação a orientação nos edifícios de vários andares.

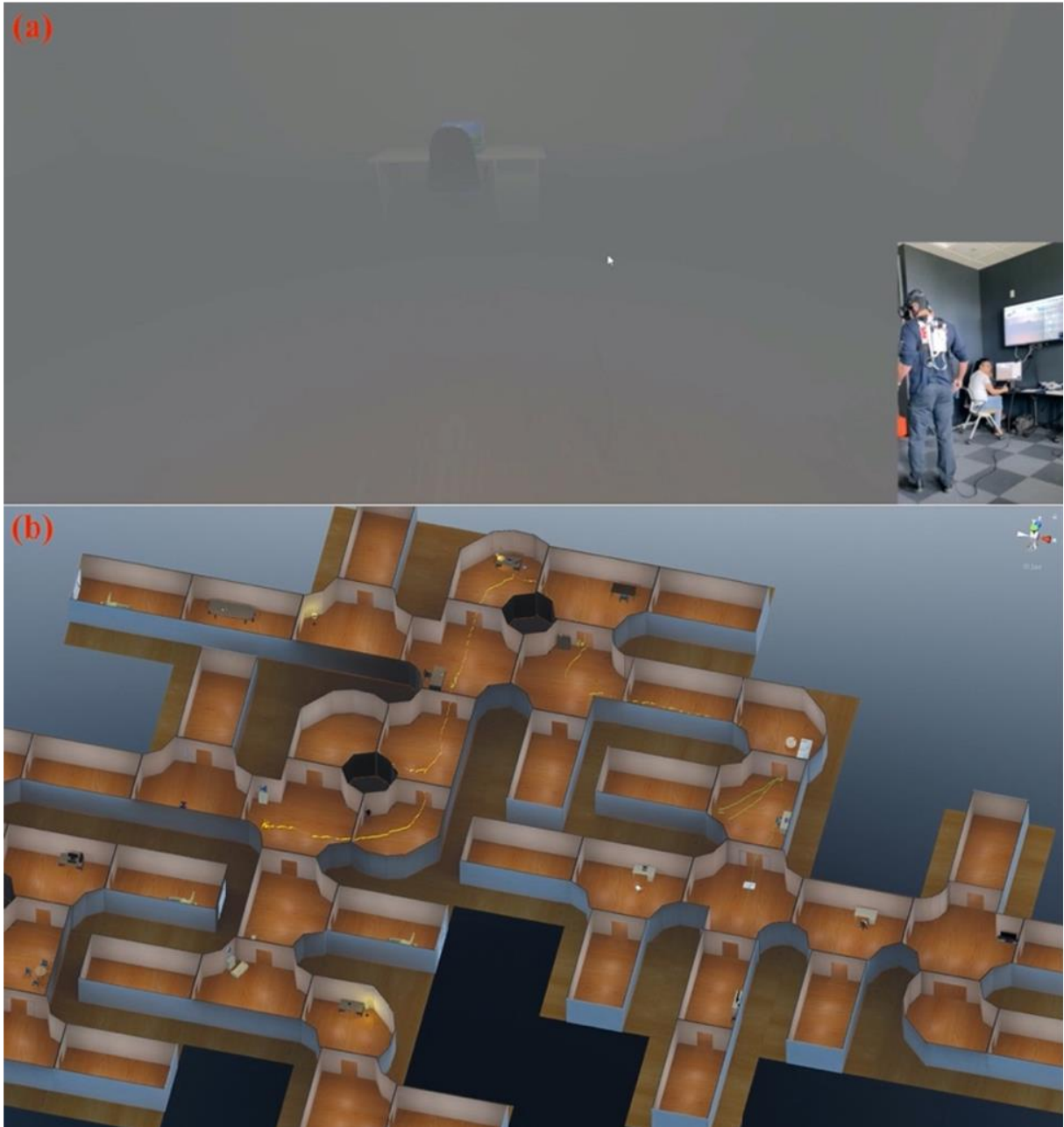
Devido à esta questão, se desenvolveu uma recente e promissora simplificação dos experimentos com a utilização de edificações reais e de vários andares com as técnicas de realidade virtual imersiva, ou navegação em realidade

aumentada, buscando detalhes mais realistas de orientação e aquisição de conhecimento espacial (DONG *et al.*, 2021).

Estas técnicas de realidade virtual imersiva, forneceram novas abordagens para investigar o comportamento de orientação e aquisição de conhecimento espacial, com a navegação pelos ambientes realísticos com a utilização de dispositivos específicos. Com isso abre um leque de possibilidades para treinamentos, intensificação da cultura de prevenção, além das possibilidades de aprimoramento, devida a facilidade de imersão.

Nesta mesma linha, um exemplo difundido da aplicação deste método é o trabalho de Shi *et al.*, (2021), confrontando os meios tradicionais e a favor dos avanços aliados a tecnologia, utilizou experimento em RV para agregar as atividades dos bombeiros como um treinamento preparatório mental, para aguçar seus conhecimentos e controles mentais em situações críticas. Entende-se que essa contribuição pode inovar os métodos de resgate, tornando os mais eficientes e preparados em operações de resgate, sem que tenham que se expor em situações de risco.

Figura 43 – Sistema proposto aliado à RV (a) A visão em primeira pessoa do bombeiro no ambiente virtual com visibilidade limitada (b) Perspectiva da trajetória de caminhada do bombeiro em linhas amarelas.



Fonte: Shi *et al.*, 2021.

Os treinamentos e convívios com essa imersão é um bom caminho para a cultura da SCI, pois acaba difundindo os conhecimento e preparações sobre a prevenção por meio da experiência por imersão das situações, com intuito de promover a familiaridade com as situações de emergência. Em busca de preparar os usuários para uma situação de necessidade de ação e reação com o uso de

diversos conhecimentos cognitivos e comportamentais que os humanos tendem a utilizar nestas situações.

Situações de pânico em incêndios promovem questionamentos pela ausência de consonância sobre significado dos inúmeros comportamentos possíveis, sendo que essa prática busca proporcionar a segurança para realizar uma tarefa, para proporcionar um condicionamento seguro para realizar uma ação, envolvendo um combate às chamas ou evacuação (OLANDER *et al.*, 2017).

Desta forma, qualifica-se a busca pela consonância dos inúmeros comportamentos possíveis, sendo que essa prática busca proporcionar a segurança para realizar uma tarefa, para proporcionar um condicionamento seguro para realizar uma ação. Da mesma forma, a busca pelos treinamentos em RV para outras pessoas a exemplo de brigadistas, seguranças entre outras com intuito de melhorar a percepção e condicionamento de avaliação de uma situação emergencial.

#### **4.3 Análise dos métodos de detecção e alarme de incêndio**

Os sistemas de alarme de incêndio, nacionalmente, são prescritos por normas nacionais e internacionais, as quais exibem uma padronização dos sistemas, a exemplo da NFPA 72 (2016), originalmente utilizada como referência nos Estados Unidos, e aderida em outros países.

A norma NBR 17240 (ABNT, 2010) que prescreve para o Brasil, os requisitos mínimos voltados aos projetos, instalação e conservação dos sistemas de detecção e alarme, que compulsoriamente nos capítulos iniciais adverte a constante evolução destes sistemas destinados a segurança contra incêndios, exatamente pela sua transcendência pela proteção aos usuários das edificações.

Mais recentemente a NBR ISO 7240 (ABNT, 2017) dividida em diversas partes, constituem as premissas mínimas de alarme visuais e sonoros, quanto a distribuição, construção, instalação e operação.

Observa-se que, alguns sistemas presentes atualmente no mercado, possuem a capacidade de comunicação sem fio, entretanto exercendo transmitindo informações somente entre central e seus respectivos sensores, sem interação com outros dispositivos ou centrais, o que ainda precisa evoluir.

Por mais que existem padrões normativos, é comum existir sistemas com centrais de distintos fabricantes e tecnologia que divergem a comunicação, se

tornando incompatíveis em termos de hardware e software, impedindo ainda mais sua integração, além da própria diferença entre os sistemas de detecção e alarme de incêndio, dentre eles os sistemas convencionais, endereçável, analógico e sistema por meio de algorítmico.

Nesta tipologia de sistema, no momento que um dispositivo é acionado, a central não consegue realizar a identificação da posição do respectivo, devido a metodologia de comunicação deste sistema, dificultando a localização da emergência, podendo gerar inúmeras complicações de credibilidade do alarme, ou até mesmo distorção da evacuação. Essa tipologia de sistema deveria ser vedada em algumas situações de edificações, a exemplo do estado de Santa Catarina que proíbe a utilização destes sistemas convencionais, conforme Instrução Normativa nº 12 – Sistema de Alarme e Detecção de Incêndio (IN-12 CBMSC, 2018).

Já os sistemas endereçáveis estabelecem critérios diferentes de instalação, os quais possibilitam identificar a localização do acionador ativado, basicamente melhorando a condição confiabilidade do sistema e objetivação a ação na situação de emergência.

Os sistemas analógicos e algoritmos possibilitam outras funcionalidades referente aos níveis de sensibilidade dos dispositivos de sensores de detecção aliados ao dispositivo de acionamento de alarme, sendo respectivamente um nível de sensibilidade para cada instalação e mais de um nível para a mesma instalação, possibilitando um alarme prévio de aumento de temperatura de um ambiente por exemplo.

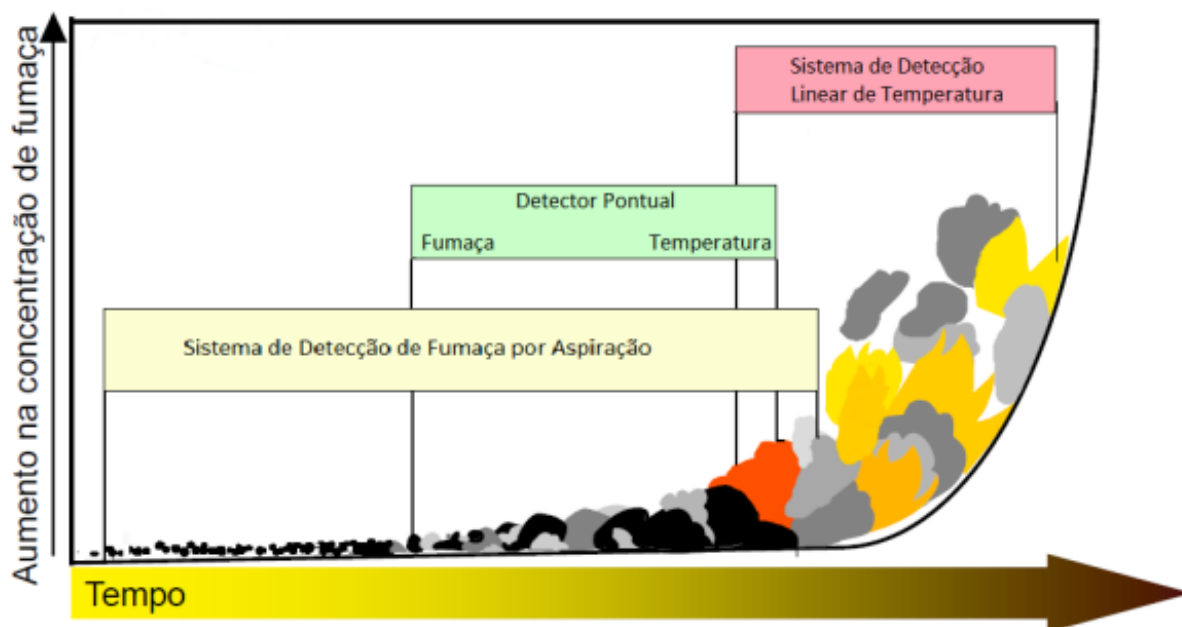
Em relação aos dispositivos responsáveis por detectar automaticamente algum princípio de fumaça, aumento de temperatura, presença de gases ou chama, acreditasse que está tecnologia está bem difundida vista a variabilidade dos sensores disponíveis em mercado. Pois para cada tipo de detecção existe um modelo específico considerando as características do local em relação aos materiais existentes ou gases liberados na combustão.

Dentre eles os detectores pontuais de fumaça, empregado para monitorar a grande maioria dos locais, os quais liberam fumaça na combustão, assim como os detectores de temperatura para locais onde a chegada de fumaça é dificultada, mas ocorre mesmo assim o aumento de temperatura. Os detectores relacionados as chamas, detectam a geração de radiação, utilizados em complementos aos



detectores anteriores, nas situações onde os sensores de temperatura e fumaça não são aplicáveis.

Figura 44 – Projeção do aumento de fumaça em relação ao sistema de detecção.



Fonte: Securition, acesso em 2022.

Portanto, os sistemas de detecção estão relativamente bem desenvolvidos, devido a quantidade de variedade disposta para inúmeras aplicações distintas. Entretanto os sistemas de alarme e centrais ainda necessitam de avanços, visto o método de sistema empregado, os quais poderiam desenvolver, além da comunicação do alerta, a possibilidade de intercalar um interfone, a qual o usuário poderia expor alguma particularidade sobre as situações com a central de alarme e vice versa. E a gestão da segurança contra incêndio, teria mais informações pertinentes para tomada de decisões e auxílio para a evacuação.

Os aprendizados voltados a comunicação entre a central de gerenciamento de segurança contra incêndio com os usuários das edificações, foram excepcionalmente falhos no desastre da *Grenfell Tower*. Segundo Fang *et al.*, (2021) essa ausência de comunicação de *feedback* ocasionou inúmeras vítimas, devido a estratégia equivocada de evacuação, ocasionada pela falta de informação do desenvolvimento do incêndio. Está mesma ocasião pode acontecer em qualquer edifício, pela falta de meios de comunicação eficazes para alertar e auxiliar os usuários da edificação (FANG *et al.*, 2021).

Em vista disso, observa a seriedade que um sistema de comunicação na situação de emergência pode ser fundamental para a sobrevivência, como explanado anteriormente. Nos arranha-céus, onde a população é maior, assim como a logística da evacuação é mais complexa, se torna essencial a sofisticação da segurança e a inclusão de sistema de gerenciamento da segurança contra incêndio com dispositivos inteligentes, passíveis de exigências desde que exista um método consolidado e certificado. Pois simplesmente, as edificações, a partir de uma certa altura passam a possuir as mesmas exigências, evidenciando claramente a falta de abordagem destes casos nas legislações.

#### **4.4 Viabilidade dos métodos de orientação**

Os métodos tradicionais de orientação nas edificações ficam a cargo dos projetistas de prevenção e proteção contra incêndio, após a consolidação do projeto arquitetônico. Recentemente, com a utilização do BIM, a integração destes projetistas acaba sendo aperfeiçoada, possibilitando aproveitar a configuração arquitetônica para melhorar a experiência dos usuários a encontrar uma rota de saída (HULSE *et al.*, 2021).

As legislações coerentes das saídas de emergências em sua totalidade são regulamentações estaduais, com requisitos próprios, mas que na grande maioria com os mesmos requisitos de prevenção. No estado do Rio Grande do Sul, para a verificação das saídas de emergência se emprega a Resolução Técnica Nº11 – Parte 1 (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO RIO GRANDE DO SUL, 2016). As regulamentações especificam requisitos mínimos a serem cumpridos para os dimensionamentos das rotas de saída para que garanta em um tempo hábil a evacuação das pessoas e acesso dos bombeiros para resgate e combate.

Entretanto, essas concepções excepcionalmente consideram os diversos comportamentos das pessoas, o que afeta além do plano de emergência, a utilização das proteções ativas contra incêndio presente na edificação, a exemplo dos extintores incêndio e hidrantes.

E conforme evidenciando anteriormente, algumas metodologias tradicionais exigidas para os Projetos de Prevenção e Proteção Contra Incêndio, com o avanço das tecnologias e descobertas de nossas situações e desafios arquitetônicos,

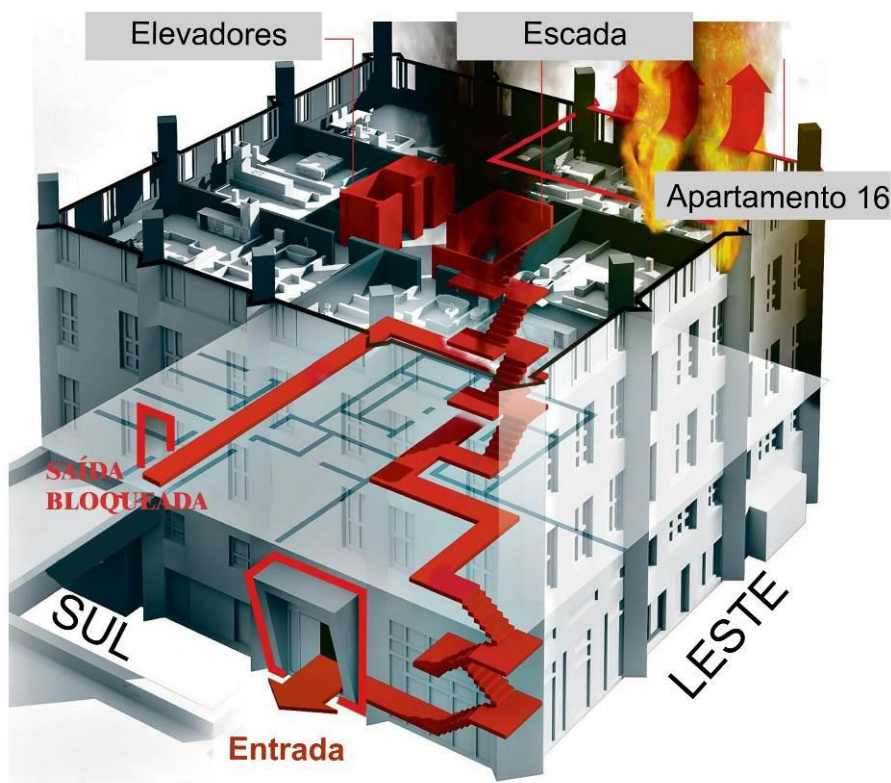
acabam necessitando de atualizações e até mesmo verificações com métodos diferentes.

O método atual da sinalização de emergência utilizados em grandes edifícios, levam em consideração o direcionamento das pessoas para as rotas de fuga mais próximas. Dimensionadas conforme a população e distancia a percorrer até o acesso da caixa de escada enclausurada. Contudo, é necessário garantir que o processo de evacuação seja ágil sem criar uma saída insegura, buscando proporcionar a familiaridade com os procedimentos de evacuação em situações de emergência.

Desta forma, evidência em sua totalidade a desconsideração da posição das chamas dentro da edificação, explanando a necessidade de melhoramento dos meios de sinalização de emergência, quanto ao balizamento dos usuários, evidenciado por PEETERS *et al.*, (2020). Provando a importância do projeto arquitetônico e a revisão das normativas, para que seja conciliada com a possibilidade do suporte da evolução tecnologia para estes casos.

Este fato também é evidenciado em relação as possíveis saídas bloqueadas (Figura 45) ou até mesmo a evacuação no sentido contrário do fluxo. Uma vez que identificado um foco de incêndio próximo a uma rota de fuga, os usuários poderão percorrer por mais tempo em busca de saídas alternativas mais seguras, sendo que estas devem ser previstas em número maior do que uma, para extinguir a possibilidade de bloqueio da única existente na edificação.

Figura 45 – Exemplo da *Torre Grenfell* com saída bloqueada



Fonte: TheTimes, 2017.

Este método com sinais interativos para evacuação, com a possibilidade da mudança dinâmica das rotas de fuga durante um incêndio, se mostra benéfico para informar aos usuários das edificações caminhos seguros de evacuação, além de estarem aliados ao controle e evacuação, que provou ser uma metodologia benéfica em edifícios altos, desde que tenha comunicação entre os gestores e os usuários (RONCHI *et al.*, 2013; CHO *et al.*, 2015; JIA *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2018; ZUALKERNAN *et al.*, 2019; FERRARO *et al.*, 2019;).

Essa comunicação na orientação, pode ser desenvolvida meramente com programação computacional, alimentada pelos sensores inteligentes, os quais através do sinal da detecção, instintivamente balizam o sentido oposto ao ponto de detecção. Esta questão passaria a sobrecarregar alguma saída de emergência oposta a comprometida, levando mais tempo para a evacuação na sua totalidade. Entretanto, mesmo assim garantiria a saída segura, sem exposição aos riscos e disponibilizando a rota mais perigosa para o combate do incêndio, por parte dos bombeiros, visto que passariam a conflitar o sentido de deslocamento com os usuários das edificações.

#### 4.5 Renovação do método de auxílio aos bombeiros

Quando se trata de emergência em edifícios, o incêndio é uma das ocorrências mais comuns (MA *et al.*, 2020), assim, a criação de sistemas de processamento dados e comunicação possuem um potencial exponencial em auxiliar as pessoas a evacuarem os edifícios.

E levando em consideração os estudos mencionados anteriormente, todos os sistemas de gerenciamento de emergência embasados em BIM são relevantes para a aplicação da segurança. Estes sistemas possuem um enorme potencial para ser aplicado na prática e preencher funcionalidade essenciais na resposta das futuras emergências (FERRARO *et al.*, 2019; CHOU *et al.*, 2019; FANG *et al.*, 2021)

Tradicionalmente os bombeiros são acionados de forma manual, os quais desempenham suas funções somente com sua experiência e informações disponibilizadas no local da emergência, prejudicando demasiadamente a eficiência do resgate.

A evacuação dos usuários atualmente ocorre de forma habitual, com o auxílio de sinalizações fixas, sem a utilização do gerenciamento da segurança com dispositivos inteligente, conforme citado anteriormente.

Portanto, é proposto um mecanismo decorrente da modernização para o gerenciamento de segurança contra incêndio nos edifícios, de acordo com as tecnologias abordadas, com três principais funcionalidades, sendo elas coletar informações em tempo real, gerir ações conforme as informações prestadas pelos sensores e realizar chamado aos bombeiros, aliado a comunicação de evacuação aos usuários.

Para o monitoramento da edificação, contará com a presença dos dispositivos interativos a exemplo dos detectores de fumaça, chama e gases, detecção por monitoramento, dispositivos de alarme com comunicação por voz, controle de acesso de público, entre outros dispositivos interligados via WI-FI, *Bluetooth*, GSM, com uma central de gerenciamento de incêndio. A combinação destes sensores para cada região se torna eficaz para se obter resultados precisos na redução da taxa de falsos alarmes.

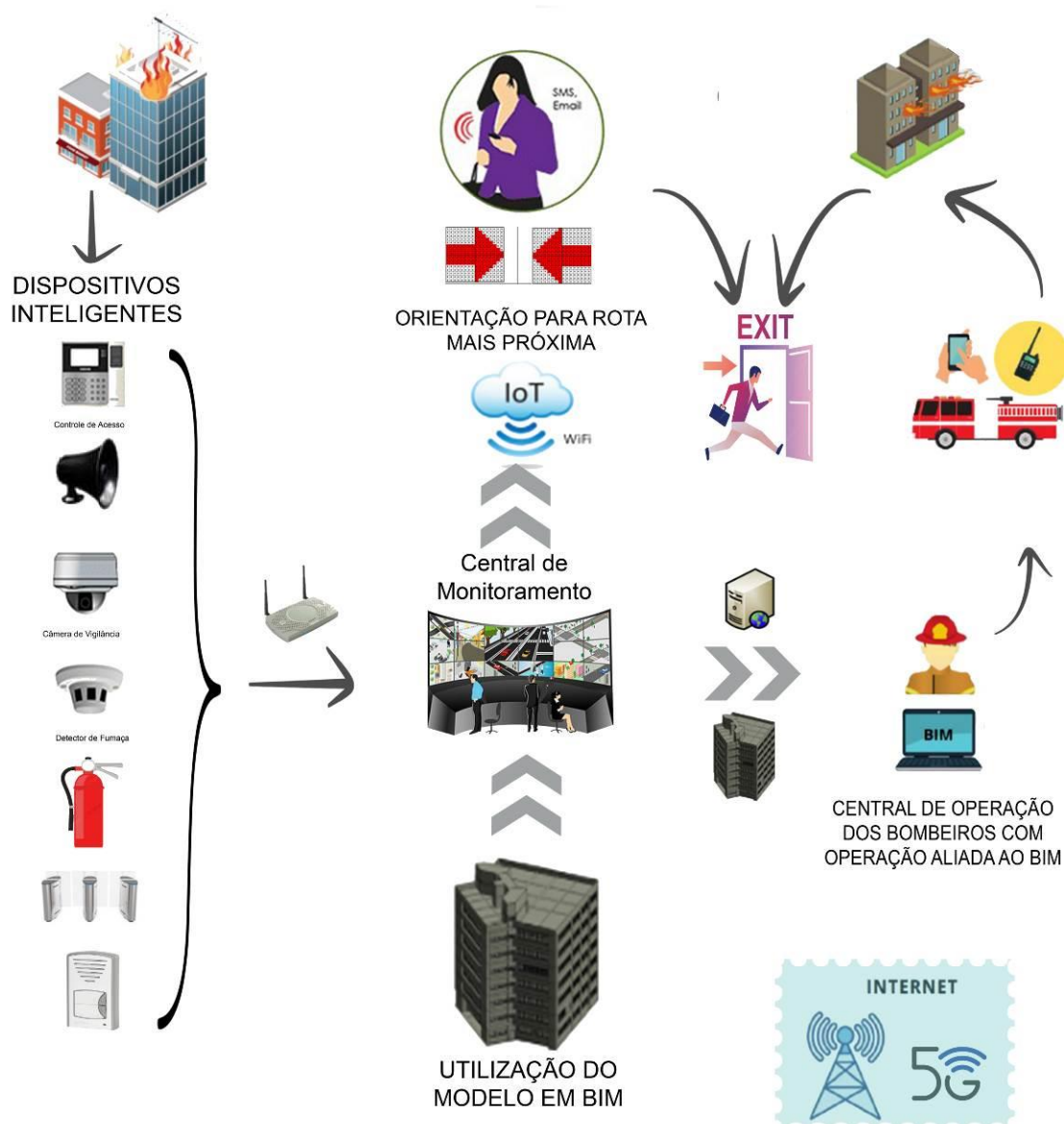
A central, será alimentada em tempo real pelos dispositivos, a qual em um primeiro estágio o gestor decidirá, subsidiado pelos dispositivos inteligentes, se trata-se de um caso passível de combate ou com necessidade de prosseguir com a

emergência. Assim sendo, repassando o chamado a central de operação do batalhão do corpo de bombeiros, os quais receberam as informações prévias de leiaute em 3D e informações pertinentes sobre a edificação, como rotas de fuga, sistemas construtivos, área de riscos, medidas de combate ao incêndio presente na edificação, população atual, entre outros.

Paralelamente, será iniciada a ativação do alarme de incêndio em toda edificação, pela central de monitoramento, passando e realizar a gestão de direcionamento das rotas e preposição de rotas de evacuação aos usuários das edificações, por meio dos dispositivos móveis orientando a evacuação das pessoas, bem como a possível localização de algum usuário dentro da edificação pela tecnologia de posicionamento.

A contagem dos usuários, assim como a obtenção da localização dentro dos edifícios, pode ser obtida pela utilização acessos controláveis com cartão magnéticos, câmeras de vídeo com algoritmos baseados em visão computacional para detecção, radiofrequência (RF) ou conexão de rede, como GPS, dados de celular, rede local sem fio (WLAN) e Bluetooth (YANG *et al.*, 2016).

Figura 46 – Preposição de gerenciamento de segurança contra incêndio



Fonte: Elaborado pelo autor

Com o propósito de gerar integração das tecnologias promissoras de IoT, GSM, BIM e 5G no que tange as situações de emergência como o resgate e a evacuação dos edifícios altos e/ou complexos, se entende que método proporciona um modo eficiente. Este método é consolidado conforme ocorre a evolução da tecnologia embarcada nos edifícios, aliada aos novos desafios da engenharia de segurança contra incêndio, para se evitar novos desastres.

Entretanto, implantar tal sistema ainda é um desafio existente devido a extensa utilização de dispositivos. Os quais estão em constante desenvolvimento e modelações para torná-los mais confiáveis e aplicáveis, visto que ainda é preciso

mais evidências de aplicações para comprovar a eficiência e a confiabilidade, para serem passíveis de regulamentações.

A determinação deste sistema de gerenciamento, se atenta para a digitalização e automatização dos planos de emergência, que hoje são meramente prescritivos, pouco efetivos e lembrados. Pois, os protocolos e ações nestes sistemas passam a considerar condutas sem a necessidade da memorização de protocolos, o que em situações de emergência são claramente comprometidos pela falta de raciocínio lógico curtos períodos, visto que serão melhor subsidiados pelo sistema proposto.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no trabalho desenvolvido, é possível perceber que existem inúmeras questões relacionadas a uma edificação, principalmente tratando-se da segurança que a mesma possui.

É evidente que os métodos tradicionais de segurança contra incêndio ainda possuem lacunas, quanto ao gerenciamento de segurança. Pois, em uma situação de emergência todos os ocupantes devem conseguir sair da edificação em segurança, o que ocasionaria na extinção das vítimas de incêndio.

Sabendo que, infelizmente isso ainda não acontece, com os gradativos desafios da evolução da engenharia, se torna eminente estudos voltados ao gerenciamento da segurança incêndio aliados ao BIM com funcionalidade de interação dos dispositivos inteligentes.

Portanto, ao longo do seu desenvolvimento se propôs inicialmente um levantamento atualizado dos conceitos e metodologias no que tange a influência da segurança das pessoas dentro de uma edificação, estando ou não em uma situação de emergência. É possível perceber a dificuldade em se obter conhecimentos relacionados aos comportamentos das pessoas, observando que em experimento controlados na vida real ou simulações de RV pouco se desenvolveu o entendimento da evacuação de multidões.

Visto a dificuldade, aliado à esta causa, se desenvolve modelos para simular a evacuação de pessoas, os quais, na sua grande maioria buscaram verificar a interação das questões arquitetônicas, influência de informação durante a evacuação e informações presentes na edificação em uma situação de deslocamento horizontal. Com essas explorações, podem ser utilizadas para informar prováveis pesquisas sobre comportamento e capacidade de previsões para projetos arquitetônicos de edifícios altos quanto ao desempenho de evacuação das pessoas.

De qualquer maneira, entendeu-se que os modelos de realidade virtual estão em uma evolução gradativa, em busca da representação fiel do deslocamento dos usuários, para que sejam potencializadas as verificações de modelos arquitetônicos por meio da RV.

Outro potencial para esta ferramenta é a preposição de treinamentos de segurança devidos aos recursos de visualização e imersão que a integração das

disciplinas em BIM pode entregar. Auxiliando na compreensão das legislações de segurança contra incêndio de maneira segura e compreensível, dadas suas funcionalidades permitidas através do BIM, fomentando os pesquisadores a encontrar recursos mais eficientes para uma determinada questão de emergência.

O intuito dos treinamentos é disseminar uma cultura de conhecimentos com aproximação de experiências prévias, para possibilitar em situações reais melhores respostas e percepções de sinais dos envolvidos.

Com a tendência contínua de que todos os campos de engenharia estão melhorando ativamente sua eficiência com o auxílio de sistemas integrados, a segurança da evacuação em situações de emergência também não deve ficar atrás neste progresso.

Com isso, se propôs uma contribuição para o desenvolvimento e validação de um modelo baseado em gerenciamento de segurança contra incêndio, como um novo conceito de evacuação de edifícios. Este modelo, aprimora a evacuação, incluindo processos voltados ao auxílio dos usuários por meio da IoT, GSM ou RFID, buscando estratégias mais apropriadas com base nas características das edificações atuais, assim como a estratégia adotada, conforme a situação das chamas no instante da emergência.

Realizando um adendo sobre o gerenciamento, não foram encontradas pesquisas voltadas a gestão dos elevadores de emergência em situação de incêndio, visto que sua utilização, por exemplo, nestas situações poderia ser focada a atender o pavimento com presença de chamas, ou pavimentos superiores.

Portanto, embasado no referencial teórico e nas análises realizadas, é possível validar as contingências citadas, visto que os trabalhos mencionados visaram a proposição de sistemas de processamento de informações para auxiliar a evacuação de pessoas em situações de emergência. Desta forma, o estudo se consolidou em elencar as potências utilidades do BIM, a qual possui importância significativa nos cenários da gestão de riscos em edifícios altos, explanando que este recurso está contribuindo para a compreensão da elevação da segurança dos edifícios a outro patamar.

Por fim, o gerenciamento da segurança contra incêndio aliado ao BIM ainda é uma área nova e emergente, portanto essa pesquisa buscou contribuir para o corpo técnico em formação neste assunto, avaliando e conceituando os principais

desenvolvimentos de pesquisas e aplicação de BIM para o gerenciamento da segurança contra incêndio dos edifícios.

## REFERÊNCIAS

- AGC FLAT GLASS EUROPE. All About Glass. Bruxelas: AGC, [2008], 439 p.
- AGUILAR L., L. Wijerathne, S. Jacob, M. Hori, T. Ichimura, Mass evacuation simulation considering detailed models: behavioral profiles, environmental effects, and mixed-mode evacuation, *Asia Pacific Manag. Rev.* 24 (2) (jun 2019) 114–123, <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.05.001>.
- AKRAM, Ramsha & Thaheem, Muhammad Jamaluddin & Nasir, Abdur & Ali, Tauha & Khan, Shamraiza. (2019). Exploring the role of building information modeling in construction safety through science mapping. *Safety Science*. 120. 456-470. [10.1016/j.ssci.2019.07.036](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.036).
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E2307: standard test method for determining fire resistance of perimeter fire barriers using intermediate-scale, multi-story test apparatus. Philadelphia, 2016.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). ASTM E119-15: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials. West Conshohocken, Philadelphia. ASTM International, 2015
- ANDERSON J., BOSTRÖM L., MCNAMEE J. R., MILOVANOVIĆ B., Fire Dynamics in Façade Fire Tests: Measurement, Modeling and Repeatability, Proceedings of the International Conference in Dubrovnik, 15-16 October 2015.
- ANDERSON, J., JANSSON, R., Fire Dynamics in Façade Fire Tests: Measurement and Modeling, Proceedings of Interflam 2013, page 93, Royal Holloway College, University of London UK, (2013).
- ANDRADE E SILVA, F. P. de. Verificação automatizada dos requisitos de projetos da norma de desempenho pela plataforma BIM Solibri Model Checker. Belo Horizonte, 2017. 161 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
- ARAÚJO, M.A.S. Papel do Corpo de Bombeiros na segurança contra incêndio. In: SEITO, Alexandre Itiu et. al. (Coords). A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 297-310.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.
- \_\_\_\_\_. NBR 10636: paredes divisórias sem função estrutural – determinação da resistência ao fogo - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.
- \_\_\_\_\_. NBR 14925: Elementos construtivos envidraçados resistentes ao fogo para compartimentação. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. NBR 5628: Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. ABNT NBR 7199: vidros na construção civil — projeto, execução e aplicações. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_.NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_.NBR 17240:2010. Sistemas de detecção e alarme de incêndio – Projeto, instalação, comissionamento e manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio – Requisitos.

ABNT NBR ISO 7240. Sistemas de detecção e alarme de incêndio Parte 1: Generalidades e definições

BABRAUSKAS V., Glass Breakage in Fires, Fire Science and Technology, Inc, 2011, p. 22. <https://www.doctorfire.com/GlassBreak.pdf>

BADROCK G., Post incident analysis report: Lacrosse Docklands, 25 November 2014, 2nd International Conference on Fire Safety of Façades, Lund 11-13 Maj 2016, MATEC Web of Conferences 46, 06002, 2016.

BANDYOPADHYAY S. Bandyopadhyay, A. Mukherjee, Tracking user-movement in opportunistic networks to support distributed query-response during disaster management, *Procedia Eng.* 159 (2016) 82–88, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.068>.

BARBEHENN M., A note on the complexity of Dijkstra’s algorithm for graphs with weighted vertices, *IEEE Trans. Comput.* 47 (2) (1998) 263, <https://doi.org/10.1109/12.663776>.

BBC News, “London fire: What happened at Grenfell Tower?,” pp. 1–18, 19-Jul-2017. Disponível em <https://www.bbc.co.uk/news/uk-england-london-40272168>. Acesso em 22 junho de 2019

BBC NEWS, Grenfell Tower: What happened. Acesso em 13/07/2019. Disponível em <https://www.bbc.com/news/uk-40301289>.

BJEGOVIĆ D., Ivana Banjad Pečur, Bojan Milovanović, Marija Jelčić Rukavina, Marina Bagarić. Comparative full-scale fire performance testing of ETICS systems.2015. DOI: 10.14256/JCE.1347.2015.

BODE N.W., A.U. Kemloh Wagoum, E.A. Codling, Human responses to multiple sources of directional information in virtual crowd evacuations, *J. R. Soc. Interface* 11 (91) (2014) 20130904, <https://doi.org/10.1098/rsif.2013.0904>.

BOLINA, F. L. et al. Avaliação da resistência ao fogo de paredes maciças de concreto armado. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 291-305, out./dez. 2015.

BRAGA, H. C.; MOITA, G. F.; ALMEIDA, P. E. M. de. The Influence of the location of emergency exits over the distance to be covered to the exit of an environment. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 219-232, abr./jun. 2019. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000200318>.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Segurança contra Incêndios em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde. Brasília: 141p, 2014.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: <[https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/CON1988\\_05.10.1988/art\\_144\\_.asp](https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/CON1988_05.10.1988/art_144_.asp)>. Acesso em: 20 abr. 2019.

\_\_\_\_\_. Lei Federal 13.425, de 30 de março de 2017. Estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2017/lei-13425-30-marco-2017-784547-publicacaooriginal-152268-pl.html>>. Acesso em: 24 jun. 2019.

BROUWER E., Trainer's Corner: Quais são suas regras para chamar Mayday? 2012.

BUCHANAN, A.H. Structural design for fire safety. Chichester: Jhon Wiley & Sons Ltda, 2002.

BuildingSMART Korea, Avatar of Construction, BIM, CNEWS, 2011.

CAO S., W. Song, W. Lv, Modeling pedestrian evacuation with guiders based on a multi-grid model, *Phys. Lett. A* 380 (4) (2016) 540–547, <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2015.11.028>.

CASONATO, C.A. Ação de elevadas temperaturas em modelos de paredes de concreto e de alvenaria sob cargas de serviço. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

CBMRS. Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul. Resolução técnica de transição Regulamentação de Transição. Secretaria da Segurança Pública (2017).

CCTV Hotel Fire Causado por Fogos de Artífício: Oficial. Disponível online: [http://www.chinadaily.com.cn/china/2009-02/10/content\\_7461514.htm](http://www.chinadaily.com.cn/china/2009-02/10/content_7461514.htm) (acessado em 5 de novembro de 2021).

CHEN A.Y., J.C. Chu, TDVRP and BIM integrated approach for in- building emergency rescue routing, *J. Comput. Civ. Eng.* 30 (5) (2016) 11, [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000522](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000522).

CHEN A.Y., T. Huang, Toward BIM-enabled decision making for in-building response missions, *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.* 16 (2015) 2765–2773, <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2422138>.

CHEN X.S., C.C. Liu, I.C. Wu, A BIM-based visualization and warning system for fire rescue, *Adv. Eng. Inform.* 37 (2018) 42–53, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.04.015>.

CHENG M.Y., K.C. Chiu, Y.M. Hsieh, I.T. Yang, J.S. Chou, Development of BIM-based Real-time Evacuation and Rescue System for Complex Buildings, in: *Proceedings of the 33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, July 18–21, 2016, Auburn, USA.

CHENG M.Y., K.C. Chiu, Y.M. Hsieh, I.T. Yang, J.S. Chou, Y.W. Wu, BIM integrated smart monitoring technique for building fire prevention and disaster relief, *Autom. Construct.* 24 (2017) 14–30, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.027>.

CHO, J.; Lee, G.; Lee, S. An automated direction setting algorithm for a smart exit sign. *Autom. Constr.* 2015, 59, 139–148. [CrossRef]

CHOI J., J. Choi, I. Kim, Development of BIM-based evacuation regulation checking system for high-rise and complex buildings, *Autom. Constr.* 46 (2014) 38–49, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.12.005>.

CHOU J.S., M.Y. Cheng, Y.-M. Hsieh, I.T. Yang, H.-T. Hsu, Optimal path planning in real time for dynamic building fire rescue operations using wireless sensors and visual guidance, *Autom. Constr.* 99 (2019) 1–17, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.020>.

CHOW C.L., Numerical studies on smoke spread in the cavity of a double-skin facade, *J. Civ. Eng. Manag.* 17 (2011) 371–392.

CHOW W., HUNG W., GAO Y., ZOU G., DONG H., Experimental study on smoke movement leading to glass damages in double-skinned façade, *Construct. Build. Mater.* 21 (2007) 556–566.

CHOW, W. K. "Building Fire Safety in the Far East," *Archit. Sci. Rev.*, vol. 48, no. 4, pp. 285–294, 2005.

CHU M. L., P. Parigi, K. Law, J.-C. Latombe, Modeling social behaviors in an evacuation simulator, *Comput. Animat. Virtual Worlds* 25 (3–4) (may 2014) 373–382, <https://doi.org/10.1002/cav.1595>.

ČOLAKOVIĆ A., M. Hadžialić, Internet of Things (IoT): a review of enabling technologies, challenges, and open research issues, *Comput. Netw.* 144 (2018) 17–39, <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.07.017>.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. Aprova a Norma Técnica N° 03/2015- CBMDF, Sistema de Proteção por Extintores de Incêndio. Brasília, 2015. 9 p.

COSTA, C. N. Estruturas de concreto em situação de incêndio. 2002. 241p. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2002.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. Dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio. Métodos tabulares apresentados em normas internacionais. In: V Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto. Anais. São Paulo: EPUSP, 2003.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. Revisão histórica das curvas padronizadas de incêndio. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU: Tecnologia de Durabilidade, 2006, São Paulo. Resumos. São Paulo: NUTAU-USP, 2006.

CRAM, D.; HATCH, C.; TYLER, S.; OCHOA, C. Use of Distributed Temperature Sensing Technology to Characterize Fire Behavior. *Sensors* 2016, 16, 1712.

CUNHA, D.V.F. Análise do risco de incêndio de um quarteirão do centro histórico da cidade do Porto, Quarteirão 14052 – Aldas, Sé do Porto, Relatório de dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010. 177p.

CUOGHI, R.S. Aspectos de análise de risco das estruturas de concreto em situação de incêndio. 2006. 247 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DAAMEN, W.; HOOGENDOORN, S. P. Emergency Door Capacity: influence of door width, population composition and stress level. *Fire Technology*, v. 48, p. 55-71, 2012.

DARMON, Ruxandra. Sustainable fire safety design for building frontages. *Journal of Applied Engineering Sciences*, v. 2, n. 1, p. 19-24, Romênia, 2012. Disponível em: <[http://www.arhiconoradea.ro/JAES/Latest\\_ISSUE/JAES\\_MAI2012/PAPERSpdf/JAES2\\_15\\_\\_1\\_2012\\_\\_DARMON.pdf](http://www.arhiconoradea.ro/JAES/Latest_ISSUE/JAES_MAI2012/PAPERSpdf/JAES2_15__1_2012__DARMON.pdf)>. Acesso em: 07 mai. 2019.

DEHURY C.K., P.K. Sahoo, Design and implementation of a novel service management framework for IoT devices in cloud, *J. Syst. Softw.* 119 (2016) 149–161, <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.06.059>.

DELTA FIRE - Alarme de Incêndio Wireless. Disponível em: <http://www.deltafire.com.br/produtos/id/193>. Acesso em: 27 jan. 2022.

DEMARCO, C. Understanding the Basics of Firestopping: Part Two. *EUA*, 2014. Disponível em: <https://ifpmag.mdmpublishing.com/understanding-basics-firestopping-part-two/>. Acesso em: 21 julho de. 2019

DEMBELE S., ROSARIO R.A.F., WEN J.X., Thermal breakage of window glass in room fires conditions – analysis of some important parameters, *Build. Environ.* 54 (2012) 61–70.



DIJKSTRA E.W., A note on two problems in connexion with graphs, *Numer. Math.* 1 (1) (dec 1959) 269–271, <https://doi.org/10.1007/bf01386390>.

DIJKSTRA J., H. Timmermans, J. Jessurun, Modeling planned and unplanned store visits within a framework for pedestrian movement simulation, *Transport. Res. Proc.* 2 (2014) 559–566, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.096>.

DONG, W., Qin, T., Yang, T., Liao, H., Liu, B., Meng, L., Liu, Y., 2021. Wayfinding Behavior and Spatial Knowledge Acquisition: Are They the Same in Virtual Reality and in Real-World Environments? *Ann. Am. Assoc. Geogr.* 10.1080/24694452.2021.1894088.

DORAZIO, M. et al. Design and Experimental Evaluation of an Interactive System for Pre-Movement Time Reduction in Case of Fire. *Automation in Construction*, v. 52, p. 16-28, 2015.

DOSSICK, C.S., Neff, G., 2011. Messy talk and clean technology: communication, problem-solving and collaboration using Building Information Modelling. *Eng. Proj. Org. J.* 1, 83–93.

DOVEY, K. (2017). One way street. In R. C. Dalton & C. Hölscher (Eds.), *Take one building: Interdisciplinary research perspectives of the Seattle Central Library* (pp. 53-66). New York, NY: Routledge.

DUARTE, D. et al. Códigos Prescritivos x Códigos Baseados no Desempenho: Qual é a melhor opção para o contexto do Brasil? In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 2002, Curitiba.

DUBRAVKA BJEGOVIĆ, Ivana Banjad Pečur, Bojan Milovanović, Marija Jelčić Rukavina, Marina Bagarić. Comparative full-scale fire performance testing of ETICS systems.2015. DOI: 10.14256/JCE.1347.2015.

EASTMAN, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K., 2011. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and contractors*. John Wiley e Sons, USA.

EMMONS H., The needed fire science, in: *The Needed Fire Science*, IAFSS, 1986, pp. 33–53.

EWART, I.J., Johnson, H., 2021. Virtual reality as a tool to investigate and predict occupant behaviour in the real world: the example of wayfinding. *J. Inf. Technol. Constr.* 26, 286–302. 10.36680/j.itcon.2021.016.

EWART, I.J., Johnson, H., 2021. Virtual reality as a tool to investigate and predict occupant behaviour in the real world: the example of wayfinding. *J. Inf. Technol. Constr.* 26, 286–302. 10.36680/j.itcon.2021.016.

FAGUNDES, F. Plano de Prevenção e Combate a Incêndios: Estudo de Caso em Edificação Residencial Multipavimentada. 2013. Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia de Segurança do Trabalho - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande Do Sul.

FENG, Y., Duives, D., Daamen, W., & Hoogendoorn, S. (2021). Data collection methods for studying pedestrian behaviour: A systematic review. *Building and Environment*, 187, 1-25. [107329]. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107329>.

FERRARO, V.; Settino, J. Evacuation and Smart Exit Sign System. In *The Internet of Things for Smart Urban Ecosystems*; Cicirelli, F., Guerrieri, A., Mastroianni, C., Spezzano, G., Vinci, A., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Germany, 2019; pp. 363–383.

FIB, F. I. D. B. Bulletin 38 - Fire design of concrete structures. Lausanne, Suíça: EPFL, 2007

FISHER-Gewirtzman, D., 2018. Perception of Density by Pedestrians on Urban Paths: an experiment in virtual reality. *J. Urban Des.* 23 (5) <https://doi.org/10.1080/13574809.2018.1444471>.

FISHER-Gewirtzman, D., 2019, July. The relations between patterns of visibility quantification and perceived values in various urban typologies: An experiment in virtual reality. In: *New technology. Symposium conducted at the 12th International Space Syntax Symposium*, Beijing Jiaotong University, Beijing.

FONOLLOSA, J.; SOLÓRZANO, A.; MARCO, S. Chemical Sensor Systems and Associated Algorithms for Fire Detection: A Review. *Sensors* 2018, 18, 553. [CrossRef] [PubMed].

FORERO, M. P. G. El fenómeno de la propagación del fuego por fachada. Barcelona 7 de julio de 2017. Agrupació d'arquitectes experts pericials forenses i mediadors de Catalunya.

FRANSSEN, J. M.; ZAHARIA, R.; KODUR, V. *Designing Steel Structures for Fire Safety*. CRC Press, 2009.

G1. Tragédia em Santa Maria. Disponível em: <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/tragedia-incendio-boate-santa-maria/platb/>. Acesso em 11/06/2019.

GAO Xinghua, Pardis Pishdad-Bozorgi School. BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review School of Building Construction, Georgia Institute of Technology, 280 Ferst Dr., Atlanta, GA 30332-0680, United States *Advanced Engineering Informatics* 39 (2019) 227–247 Contents.

GERRISH, T., Ruikar, K., Cook, M., Johnson, M. and Phillip, M. “BIM application to building energy performance visualisation and management: challenges and potential.” *Energy and Buildings* 144(2017): 218-228.

GHADI Y.Y., M.G. Rasul, M.M.K. Khan, Design and development of advanced fuzzy logic controllers in smart buildings for institutional buildings in subtropical Queensland, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 54 (2016) 738–744, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.105>.

GILL, A. A.; SILVA, V. P. O Método de Gretener. *Revista Incêndio*, São Paulo, n. 71, p. 16 - 21, 28 fev. 2011.

GOLDANI, Daniel. Eficiência dos sistemas Outrigger em edifícios altos de concreto armado. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021

GRENFELL TOWER FIRE: an inferno that shames us all. The Sunday Times reporting team Sunday June 18 2017, 12.01am BST, The Sunday Times. Acesso em 20/03/2022 <https://www.thetimes.co.uk/article/grenfell-tower-fire-an-inferno-that-shames-usall-lrk80hs5f>.

GUARDIAN. Manual Técnico: Build With Light. [S.l.]: Guardian Industries Corp., 2010, 36 p.

GUBBI J., R. Buyya, S. Marusic, M. Palaniswami, Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions, *Futur. Gener. Comput. Syst.* 29 (2013) 1645–1660, <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.

GUNAY H.B., W. Shen, C. Yang, Text-mining building maintenance work orders for component fault frequency, *Build. Res. Inf.* 47 (2019) 518–533, <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1459004>.

GUO, H., Li, H., Chan, G., Skitmore, M., 2012. Using game technologies to improve the safety of construction plant operations. *Accid. Anal. Prev.* 48, 204–213.

GUPTA Harish, et al.. Need for Performance Testing e Certification. *Façade Fire Safety – WFM media*, 2018.

HAHM S., D. Knuth, D. Kehl, S. Schmidt, The impact of different natures of experience on risk perception regarding fire-related incidents: a comparison of firefighters and emergency survivors using cross-national data, *Saf. Sci.* 82 (2016) 274–282, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.09.032>.

HAJPÁL M., Analysis of a tragic fire case in panel building of Miskolc, EMI, Malta, 2012.

HALLOWELL M.R., D. Hardison, M. Desvignes, Information technology and safety Integrating empirical safety risk data with building information modeling, sensing, and visualization technologies, *Constr. Innov.-England* 16 (3) (2016) 323–347, <https://doi.org/10.1108/ci-09-2015-0047>

HE, S.; HU, T.; CHAN, S.H.G. Contour-based Trilateration for Indoor Fingerprinting Localization. In *Proceedings of the 2015 ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, Seoul, Korea, 1–4 November 2015; pp. 225–238.

HERMANSSON, K., Quality assurance and the simulation of fires – A practical application for automated validation of user-generated input data for FDS, Thesis Report 5501 Lund University (2015).

HILL, A. (2010, March 4). What is Tinted Glass. Retrieved April 26, 2010, from WiseGEEK: <http://www.wisegeek.com/what-is-tinted-glass.htm>.

HINTERECKER, T. et al. Anisotropia horizontal-vertical relativa ao corpo em representações humanas de distâncias percorridas. *Exp. Res. Cérebro*. 236 , 2811-2827 (2018).

HOLMBERG D.G., M. a Raymond, J. Averill, *Delivering Building Intelligence to First Responders*, Gaithersburg, MD, 2013. doi:10.6028/NIST.TN.1648

HSU H.P., K.M. Yu, S.T. Chine, S.T. Cheng, M.Y. Lei, N. Tsai, Emergency evacuation base on intelligent digital signage systems, in: *Proceedings of the 7th International Conference on Ubi-Media Computing and Workshops*, July 12–14, 2014, Ulaanbaatar, Mongolia.

HULSE, Lynn & Deere, Steven & Galea, E.R.. (2021). Fire safety in construction: Site evacuation and self-reported worker behaviour. *Safety Science*. 145. 105482. 10.1016/j.ssci.2021.105482.

INSTRUÇÃO NORMATIVA nº 12 – Sistema de Alarme e Detecção de Incêndio. IN12. Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina, 2018. Disponível em: <https://documentoscbmsc.cbm.sc.gov.br/uploads/8d70264d6b80814bf7a8ff2c656d955e.pdf>.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF FIRE AND RESCUE SERVICES. Center of Fire Statistics. *World fire statistics*. [S.l.], 2018. (CTIF, n. 23).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 834: fire resistance tests – Elements of building construction. Geneva, 1999.

ISIKDAG U., S. Zlatanova, J. Underwood, A BIM-Oriented Model for supporting indoor navigation requirements, *Comput. Environ. Urban Syst*. 41 (2013) 112–123. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2013.05.001.

JEON G.Y., J.Y. Kim, W.H. Hong, G. Augenbroe, Evacuation performance of individuals in different visibility conditions, *Build. Environ*. 46 (2011) 1094–1103. doi:10.1016/j.buildenv.2010.11.010.

JIA, Q.-S.; Zhang, Y.; Zhao, Q. Controlling the Internet of Things—From Energy Saving to Fast Evacuation in Smart Buildings. In *Intelligent Building Control Systems: A Survey of Modern Building Control and Sensing Strategies*; Wen, J.T., Mishra, S., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Germany, 2018; pp. 293–310.

KANG K., Assessment of a model development for window glass breakage due to fire exposure in a field model, *Fire Saf. J*. 44 (2009) 415–424.

KANG T.W., C.H. Hong, A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration, *Autom. Constr*. 54 (2015) 25–38, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.019>.

KESER S.B., A. Yazici, S. Gunal, An F-score-weighted indoor positioning algorithm integrating WiFi and magnetic field fingerprints, *Mob. Inf. Syst*. (2018), <https://doi.org/10.1155/2018/7950985>.

KIM I., J. Choi, J. Choi, Development of architectural design quality control requirements based on open BIM, The 5th International Conference in Construction Engineering and Project Management (ICCEPM 2013), Orange County, California, USA, Jan 9–11 2013.

KINATEDER, M., Warren, W.H., 2016. Social influence on evacuation behavior in real and virtual environments. *Front. Robot. AI* 3, 1–8. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00043>.

KLASSEN M.S., SUTULA J.A., HOLTON M.M., ROBY R.J., T. Izbicki, Transmission through and breakage of multi-pane glazing due to radiant exposure, *Fire Technol.* 42 (2006) 79–107.

KOBES M., I. Helsloot, B. de Vries, J.G. Post, N. Oberijé, K. Groenewegen, Way finding during fire evacuation; an analysis of unannounced fire drills in a hotel at night, *Build. Environ.* 45 (3) (2010) 537–548, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.07.004>.

KOLBE T., Representing and exchanging 3D city models with CityGML, *3D Geo-Information Sci.* (2009) 1–20. [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-87395-2\\_2](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-87395-2_2) (accessed June 12, 2014).

KONECKI, Marek; GALAJ, Jerzy. Flame transfer through the external walls insulation of the building during a fire. *Procedia Engineering*, v. 172, p. 529-535, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817305684>>. Acesso em: 06 julho. 2020.

KOSIOREK M., KOLBRECKI A., Fire tests with polystyrene insulations, ITB Report, 2003.

KOTTHOFF, I.: Large Scale Fire Performance Testing of External Wall Cladding Systems, Draft EOTA TR 073, Presentation at AG Fire Meeting, Brussels, 12.03.2015.

KULIGA S., J. Charlton, H.F. Rohaidi, L.Q.Q. Isaac, C. Hoelscher, M. Joos, Developing a replication of a wayfinding study. from a large-scale real building to a virtual reality simulation, in: J. Škilters, N. Newcombe, D. Uttal (Eds.), *Spatial Cognition XII. Spatial Cognition 2020. Lecture Notes in Computer Science*, Springer International Publishing, 2020, pp. 126–142, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57983-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57983-8_11).

KULIGA S., T. Thrash, R. Dalton, C. Hoelscher, Virtual reality as an empirical research tool — exploring user experience in a real building and a corresponding virtual model, *Comput. Environ. Urban. Syst.* 54 (nov 2015) 363–375, <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.09.006>.

KULIGA S.F., B. Nelligan, R.C. Dalton, S. Marchette, A.L. Shelton, L. Carlson, C. Hoelscher, Exploring individual differences and building complexity in wayfinding: the case of the Seattle central library, *Environ. Behav.* 51 (5) (apr 2019) 622–665, <https://doi.org/10.1177/0013916519836149>.

KULIGA, S. (2016). Evaluating user experience and wayfinding behaviour in complex, architectural environments – towards a user-centred approach of building usability, Doctoral dissertation, University of Freiburg, Germany. Retrieved on June, 23, 2020 via <https://freidok.uni-freiburg.de/data/11386>.

KULIGOWSKI, E. D. et al. Stair Evacuation of People with Mobility Impairments. *Fire and Materials*, v. 39, p. 371-384, 2015.

LALU, OCTAVIAN et al. Experimental researches on determining the fire action response of improved exterior cladding systems provided with incombustible barriers. *Energy Procedia*, v. 112, p. 287-295, România, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217312249>>. Acesso em: 27 julho, 2019.

LAZARIDOU A., S. Psarra, How do atria affect navigation in multi-level museum environments? *Architect. Sci. Rev.* 64 (5) (2021) 437–451, <https://doi.org/10.1080/00038628.2021.1911782>. In press.

LELLI L., Loutan J. Análises avançadas da ação da membrana de lajes mistas em cenários de incêndio natural: Um estudo de caso da sede da JTI . *Journal of Structural Fire Engineering*, 2018

LI H., T. Thrash, C. Hölscher, V.R. Schinazi, The effect of crowdedness on human wayfinding and locomotion in a multi-level virtual shopping mall, *J. Environ. Psychol.* 65 (2019) 101320, <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101320>.

LI N., B. Becerik-Gerber, B. Krishnamachari, L. Soibelman, A BIM centered indoor localization algorithm to support building fire emergency response operations, *Autom. Constr.* 42 (2014) 78–89, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.019>.

LI R., A. Klippel, Wayfinding behaviors in complex buildings, *Environ. Behav.* 48 (3) (sep 2014) 482–510, <https://doi.org/10.1177/0013916514550243>.

LIN Y.-H., Y.-S. Liu, G. Gao, X.-G. Han, C.-Y. Lai, M. Gu, The IFC-based path planning for 3D indoor spaces, *Adv. Eng. Informatics.* 27 (2013) 189–205. doi:10.1016/j.aei.2012.10.001.

LIU M., S.M. Lo, The quantitative investigation on people's pre-evacuation behavior under fire, *Autom. Constr.* 20 (5) (2011) 620–628, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.12.004>.

LU, Y.; WANG, H.; WANG, K. Fire Location for High and Large-Span Space Buildings based on Binocular Stereo Vision. *Int. J. Smart Home* 2016, 10, 271–282.

LUJAK, M.; OSSOWSKI, S. Evacuation Route Optimization Architecture Considering Human Factor. *AI Communications*, v. 30, n. 1, p. 53-66, 2017.

LURZ F., S. Mueller, S. Lindner, S. Linz, M. Gardill, R. Weigel, A. Koelpin, Smart communication and relative localization system for firefighters and rescuers, in: *Proceedings of the IEEE International Microwave Symposium*, June 4–9, 2017, Hawaii, USA.

MA Guofeng, Zhijiang Wu, BIM-based building fire emergency management: Combining building users' behavior decisions, *Automation in Construction* 109 (2020) 102975, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102975>..

MACHRY, H. S. O Impacto dos Avanços da tecnologia nas Transformações Arquitetônicas dos Edifícios Hospitalares. Dissertação (mestrado), São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MAKSIMOVIC M., V. Vujovic, B. Perisic, V. Milosevic, Developing a fuzzy logic based system for monitoring and early detection of residential fire based on thermistor sensors, *Comput. Sci. Inf. Syst.* 12 (1) (2015) 63–89, <https://doi.org/10.2298/csis140330090m>.

MAO, Y.; WANG, H.; LU, Y.; QIN, L. Precise Localisation Method for Fire Sources in Large-space Buildings. *Comput. Appl. Softw.* 2016, 2, 169–172.

MARCATTI, J.; COELHO FILHO, H. S.; BERQUÓ FILHO, J. E. Compartimentação e afastamento entre edificações. In: SEITO, A. I. et al (Coord.). *A segurança contra incêndio no Brasil*. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

MARINI Martino, Costantino C. Mastinob, Roberto Baccolib, Andrea Frattolillo. BIM AND PLANT SYSTEMS: A SPECIFIC ASSESSMENT. 73rd Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association (ATI 2018), "BIM AND PLANT SYSTEMS: A SPECIFIC. *Energy Procedia* 148 (2018) 623–630 *Energy Procedia* 00 (2017) 000–000

MARTIN Y., S. Eeckhout, L. Lassoie, E. Winnepeninckx and B. Deschoolmeester (BBRI). Fire safety of multi-storey building facades. Belgian Building Research Institute, 2017.

MCCANN F.; GONZALO C.; PAURINE A. Improving the fire resistance of ventilated cladding systems via air cavity replacement. CIBSE Technical Symposium, London, 2018.

MCGRATTAN, K., MCDERMOTT, R. HOSTIKKA, S. FLOYD, J., *Fire Dynamics Simulator (Version 6) – user's guide*. NIST Special Publication 1019, 2015.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MELGAR L.E.A., M. Lalith, M. Hori, T. Ichimura, S. Tanaka, A scalable workbench for large urban area simulations, comprised of resources for behavioural models, interactions and dynamic environments, in: *PRIMA 2014: Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, Springer International Publishing, 2014, pp. 166–181, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-13191-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-13191-7_14).

MESSERSCHMIDT, B.: We need one harmonized large scale façade fire test, Web blog *Leading thoughts on safe, sustainable and energy efficient buildings*, <http://safeandsustainablebuildings.com/we-needone-facade-fire-test/>, 26.4.2015.

MIRAHADI Farid, Brenda McCabe, Arash Shahi. IFC-centric performance-based evaluation of building evacuations using fire dynamics simulation and agent-based modeling, 2019. Civil Engineering Department, University of Toronto, Toronto, Canada. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.007>.

MOBIN, M.I.; Abid-Ar-Rafi, M.; Islam, M.N.; Hasan, M.R. An Intelligent Fire Detection and Mitigation System Safe from Fire (SFF). *Int. J. Comput. Appl.* 2016, 133, 1–7.

MONTELLO D.R., Navigation, in: *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*, Cambridge University Press, jul 2005, pp. 257–294, <https://doi.org/10.1017/cbo9780511610448.008>.

MORAD M. Gath, L. Aguilar, R.C. Dalton, C. H'olscher, Cogarch: simulating wayfinding by architecture in multilevel buildings, in: *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, 2020, pp. 27–34. [Online]. Available: <http://simaud.org/2020/proceedings/10.pdf>.

MORAD M. Gath, T. Thrash, J. Schicker, C. H'olscher, D. Helbing, L.E. Aguilar Melgar, Visibility matters during wayfinding in the vertical, *Sci. Rep.* 11 (1) (2021) 1–15, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98439-1>.

MORAD, Michal & Aguilar, Leonel & Dalton, Ruth & H'olscher, Christoph. (2022). Beyond the shortest-path: Towards cognitive occupancy modeling in BIM. *Automation in Construction*. 135. 104-131. [10.1016/j.autcon.2022.104131](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104131).

MOURADIAN C., N.T. Jahromi, R.H. Glitho, NFV and SDN-based distributed IoT gateway for large-scale disaster management, *IEEE Internet Things J.* 5 (5) (2018) 4119–4131, <https://doi.org/10.1109/jiot.2018.2867255>.

NATAPOV A.; PARUSH A.; LAUFER L.; DAFNA F. G.; Architectural features and indoor evacuation wayfinding: The starting point matters. *Safety Science*, vol. 145, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105483>.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION - NFPA. All about fire. Disponível em: <<http://www.nfpa.org>>. Acesso em: 15 julho 2020.

NEGRISOLO, W. Arquitetando a segurança contra incêndio. 2011. 415 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

NEWS on Phoenix New Media, 2018. available at: [https://finance.ifeng.com/a/20180903/16483696\\_0.shtml](https://finance.ifeng.com/a/20180903/16483696_0.shtml)

NEWS. Erros que provocaram tragédia do Edifício Joelma ainda podem se repetir. Acesso em 12/06/2019. Disponível em <https://www.campograndenews.com.br/cidades/erros-que-provocaram-tragedia-do-edificio-joelma-ainda-podem-se-repetir>;

NFPA 72 – National Fire Alarm and Signaling Code. National Fire Protection Association. 2016 Edition.



NILUFAR, F., Choiti, S.S., 2019, July. Morphological properties of the spatial layout of factories – A key determinant in setting the emergency escape routes for evacuation. In: 12th International Space Syntax Symposium conducted at the 12th International Space Syntax, Beijing Jiaotong University, Beijing.

NISBET B., Immersive Wayfinding Cues for 3D Video Games, University of Alberta, Edmonton, Canada, 2016, <https://doi.org/10.7939/R3MS3KC1Z>.

O'CONNOR D.J., SCOTNEY, B.W. Determination of equivalent thermal response parameters for evaluating the structural response of beams subjected to transient thermal environments, *Int. J. Math. Educ. Sci. Technol.* 26 (1) (2011) 111–130. <http://dx.doi.org/10.1080/0020739950260113>.

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, 2007.

PAPINIGIS V., E. Geda, K. Lukošius, Design of People Evacuation from rooms and buildings, *J. Civ. Eng. Manag.* 16 (1) (2010) 131–139, <https://doi.org/10.3846/jcem.2010.12>.

PARK J., K. Kim, Y.K. Cho, Framework of automated construction-safety monitoring using cloud-enabled BIM and BLE Mobile tracking sensors, *J. Constr. Eng. Manag.* 143 (2) (2017) 05016019, [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001223](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001223).

PEETERS M.; T. Compernelle, S. Van Passel. Influence of information provided at the moment of a fire alarm on the choice of exit. *Fire safety journal* 2020 v.117 Find all articles in: *Fire safety journal* 2020 v.117 pp. 103221

PENG, Lei; NI, Zhaopeng; HUANG, Xin. Review on the fire safety of exterior wall claddings in high-rise buildings in China. *Procedia Engineering*, v. 62, p. 663-670, 2013.

PÉREZ J.P. Cortés, et al. Juan Pedro Cortés-Pérez,\*, Alfonso Cortés-Pérez, Paloma Prieto-Muriela BIM-integrated management of occupational hazards in building construction and maintenance. *Automation in Construction* 113 (2020) <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103115> R

PISSARRA, Jorge Fernando Lopes. Desenvolvimento e implementação numérica de um modelo de análise de risco de incêndio urbano - MARIEE - Edifícios comerciais, bibliotecas e salas de espetáculo. 2014. 277 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, 2014.

PLANK, C., & Zisch, F. (2017). Discovering serendip: Eye-tracking experiments in the Seattle Central Library as the beginning of a research adventure. In R. C. Dalton & C. Hölscher (Eds.), *Take one building: Interdisciplinary research perspectives of the Seattle Central Library* (pp. 188-202). New York, NY: Routledge.

PRASANNA R., L. Yang, M. King, T.J. Huggins, Information systems architecture for fire emergency response, *J. Enterp. Inf. Manag.* 30 (4) (2017) 605–624, <https://doi.org/10.1108/jeim-12-2015-0120>.

PROMAT: Passive fire protection systems -  
<https://www.architectureanddesign.com.au/suppliers/csp-architectural/promat-passive-fire-protection-systems#>. Acesso 04/06/2022.

PROULX G., D. Laroche, Study show slow public recognition of the temporal-three evacuation signal, *Construct. Innovat.* (2001) 1–6.

PROULX G., J.K. Richardson, The human factor: building designer soften forget how important the reactions of the human occupants are when they specify fire and life safety systems, *Can. Consult. Eng.* 43 (2002) 35–36.

PROULX G., Why Building Occupants Ignore Fire Alarms', *Construction Technology* vol. 42, IRC-NRCC, Ottawa, 2000. Update.

PURKISS, John A.; LI, Long-Yuan. *Fire safety-engineering design of structures*. CRC Press, 2013.

PURSER D.A., Toxicity assessment of combustion products, *SPFE Handbook of Fire Protection Engineering*, NFPA, Boston. 2(8) (1995).

QUINN M., A. Nadjai, F. Ali, A. Abu-Tair, Experimental and numerical investigation of localised fire on glazing facades having different orientations, *Journal of Structural Fire Engineering* 4 (2013) 153–164.

RODRIGUES, E. E. C. *Sistema de Gestão da Segurança contra Incêndio e Pânico nas Edificações: Fundamentação para uma Regulamentação Nacional*. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROGAN R.; SHIPPER E. The design and analysis of a computer fire model to test for flame spread through a building's exterior. A Major Qualifying Project Report Submitted to the Faculty of Worcester Polytechnic Institute in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Bachelor of Science. April 12, 2010.

RONCHI, E.; Nilsson, D. Fire evacuation in high-rise buildings: A review of human behaviour and modelling research. *Fire Sci. Rev.* 2013, 2, 1–21. [CrossRef]

ROSSI V., La sicurezza del patrimonio culturale in caso di incendio, in: *Built Heritage and its Protection—43th International Fire-fighters Workshop*, Moreton in Marsh, UK, 2003.

RUKAVINA J., CAREVIC M. M.; PEČUR B., Ivana. *Zaštita pročelja zgrada od požara*. Priručnik za projektiranje i izvođenje, 2017.;

SANTOS, R.; COSTA, A. A.; GRILO, A. Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015. *Automation in Construction*, v. 80, p. 118-136, ago. 2017.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de bombeiros. Instrução técnica n. 02/2018: conceitos básicos de segurança contra incêndio. São Paulo: 2018. 41 f. Disponível em:

<[http://www.corpodebombeiros.sp.gov.br/dsci\\_publicacoes2/\\_lib/file/doc/IT\\_07\\_2011.pdf](http://www.corpodebombeiros.sp.gov.br/dsci_publicacoes2/_lib/file/doc/IT_07_2011.pdf)>.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de bombeiros. Instrução técnica n. 07/2018: Separação entre edificações (isolamento de risco). São Paulo: 2011. 41 f. Disponível em: [http://www.corpodebombeiros.sp.gov.br/dsci\\_publicacoes2/\\_lib/file/doc/IT\\_07\\_2011.pdf](http://www.corpodebombeiros.sp.gov.br/dsci_publicacoes2/_lib/file/doc/IT_07_2011.pdf).

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de bombeiros. Instrução técnica n. 08/2018: Resistência ao fogo dos elementos de construção. São Paulo: 2011. 41 f. Disponível em: <<https://www.bombeiros.com.br/pdf/instrucoes-tecnicas-08.pdf>>.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de bombeiros. Instrução técnica n. 09/2018: Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. São Paulo: 2018. 41 f. Disponível em: <<http://www.cbm.mt.gov.br/arquivos/File/NORMAS/IT09CBPMESP.pdf>>.

SARWAR B., I. Bajwa, S. Ramzan, B. Ramzan, M. Kausar, Design and application of fuzzy logic based fire monitoring and warning Systems for Smart Buildings, *Symmetry* 10 (11) (2018) 615, <https://doi.org/10.3390/sym10110615>.

SCHAUMANN D., N.P. Pilosof, H. Sopher, J. Yahav, Y.E. Kalay, Simulating multi-agent narratives for pre-occupancy evaluation of architectural designs, *Autom. Constr.* 106 (oct 2019), 102896, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102896>.

SCHAUMANN, D., Gath-Morad, M., Zinger, E., Pilosof, N. P., Sopher, H., Brodeschi, M., Date, K., and Kalay, Y. E. A computational framework to simulate human spatial behavior in built environments. In *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design* (2016).

SCHYNDEL M. Van, O. Hesham, G. Wainer, B. Malleck, Crowd modeling in the sun life building, in: *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, 2016, pp. 129–136 (Date last accessed 1-October-2021). [Online]. Available: [http://simaud.org/proceedings/download.php?f=SimAUD2016\\_Proceedings.pdf](http://simaud.org/proceedings/download.php?f=SimAUD2016_Proceedings.pdf).

SCIER: Segurança Contra Incêndio em Edificações, Professores Doutores, Oficiais militares e especialistas. Livro 2018– Recomendações. <http://www.firek.com.br/scier>

SEAMON, D. (2017). A phenomenological and hermeneutic reading of Rem Koolhaas's Seattle Central Library: Buildings as lifeworlds and architectural texts. In R. C. Dalton & C. Hölscher (Eds.), *Take one building: Interdisciplinary research perspectives of the Seattle Central Library* (pp. 67-94). New York, NY: Routledge.

SECURITON, Sistemas de alarme de última geração para segurança confiável. Disponível em: <<https://www.securiton.com/index.php?id=463&L=6>>. Acesso em 24 de maio de 2022.

SEITO, A I. et al. A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto, 2008. 496p.

SENTHOL, A.M. 'Fire safety design principles' (2015).

SHALABI [9] F., Y. Turkan, IFC BIM-based facility management approach to optimize data collection for corrective maintenance, *J. Perform. Constr. Facil.* 31 (1) (2017) 04016081, [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0000941](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000941).

SHI L., M.Y.L. Chew, X. Liu, X. Cheng, B. Wang, G. Zhang, An experimental and numerical study on fire behaviors of charring materials frequently used in buildings, *Energy and Buildings* 138 (2017) 140–153, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.035>.

SHI, Y., Kang, J., Xia, P., Tyagi, O., Mehta, R.K., Du, J., 2021. Spatial knowledge and firefighters' wayfinding performance: A virtual reality search and rescue experiment. *Saf. Sci.* 139, 105231. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105231>.

SHIM, C.-S., Lee, K.-M., Kang, L.S., Hwang, J., Kim, Y., 2012. Three-dimensional information model-based bridge engineering in Korea. *Struct. Eng. Int.* 22, 8–13.

SHRIVER, J. High-rise perimeter protection systems reviewed. *FS-World*, p. 2. 2002

SIEMENS SWING wireless technology for maximum life safety and flexibility. Disponível em: <http://www.siemens.com/bt/file?soi=A6V10387658>. Acesso em 27 jan. 2021.

SIEMENS. New IoT-enabled products and solutions strengthen Siemens' fire safety portfolio. June 23, 2022.

SILVA JUNIOR, M. A.; MITIDIÉRI FILHO, C. V. Verificação de critérios de desempenho em projetos de arquitetura com a modelagem BIM. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 9, n. 4, p. 334-343, 1 dez. 2018.

SILVA, V. P. Estruturas de aço em situação de incêndio. Reimpressão. São Paulo: Zigurate, 2004. 249 p.

SILVA, V. P. Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio. São Paulo: Blucher, 2013.

SILVA, V. P. Segurança contra incêndios em edifícios: considerações para projeto de arquitetura. São Paulo: Blucher, 2014.

SILVANI X., F. Morandini, E. Innocenti, S. Peres, Evaluation of a wireless sensor network with low cost and low energy consumption for fire detection and monitoring, *Fire. Technol* 51 (4) (2014) 971–993, <https://doi.org/10.1007/s10694-014-0439-9>.

SINGH, D.; Sharma, N.; Gupta, M.; Sharma, S. Development of System for Early Fire Detection using Arduino UNO. *Int. J. Eng. Sci. Comput.* 2017, 7, 10857–10860.

SOLIMAN JUNIOR, J. Framework para suporte à verificação automatizada de requisitos regulamentares em projetos hospitalares. Porto Alegre, 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

SOLIMAN, H.; Sudan, K.; Mishra, A. A Smart Forest Fire Early Detection Sensory System, Another Approach of Utilizing Wireless Sensor and Neural Networks. In Proceedings of the IEEE SENSORS 2010 Conference, Kona, HI, USA, 1–4 November 2010.

SONG, Z. C., Ge, Y. Z., Duan, H., et al. (2016). Sistemas de simulação baseados em agentes para gerenciamento de emergências. *International Journal of Automation and Computing*, 13(2), 89–98.

SP FIRE 105, - Method for fire testing of façade materials, Dnr 171-79-360 Department of Fire Technology (DFT), Swedish National Testing and Research Institute, 1994.

SUN, Qi & TURKAN, Yelda. (2020). A BIM-based simulation framework for fire safety management and investigation of the critical factors affecting human evacuation performance. *Advanced Engineering Informatics*. 44. 101093. 10.1016/j.aei.2020.101093.

SUN, Y.; HUANG, H.; LI, F.; YU, D.; Hao, C. Research on Zoning Control of Fire in Large Space Building. *J. Wuhan Univ. Technol.* 2017, 2, 144–147.

TANG F., A. Ren, GIS-based 3D evacuation simulation for indoor fire, *Build. Environ.* 49 (2012) 193–202, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.09.021>.

TANG S., D.R. Shelden, C.M. Eastman, P. Pishdad-Bozorgi, X. Gao, A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: present status and future trends, *Autom. Construct.* 101 (2019) 127–139, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020>.

TASHAKKORI H., A. Rajabifard, M. Kalantari, A new 3D indoor/outdoor spatial model for indoor emergency response facilitation, *Build. Environ.* 89 (2015) 170–182, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.036>.

THERMAFIBER INSOLUTIONS. Pub. No. 10022722. Printed in U.S.A. One Owens Corning Parkway Toledo, Ohio March 2018. <https://www.thermafiber.com/wp-content/uploads/2019/03/10022722-Fire-Containment-Brochure-Ir.pdf>

TIANFU, Z., Shanshan, Z., & Xiaopeng, B. (2017). Way-finding strategies in underground space. *Int. J. Soc. Sci. Humanity* 7(1), 51–55. 10.18178/ijssh.2017.7.1.794.

TYMVIOS N., J.A. Gambatese, Direction for generating interest for design for construction worker safety-a Delphi study, *J. Constr. Eng. Manag.* 1943 (8) (2016), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001134](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001134).

U.S. Fire Administration, Civilian Fire Fatalities in Residential Buildings (2013- 2015), <https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/statistics/v18i4.pdf>, (2017) (Jul. 13, 2018).

VAN SCHYNDEL, M., Hesham, O., Wainer, G., and Malleck, B. Crowd modeling in the sun life building. In Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design (SimAUD'16). SCS (2016).

VEJA. Bombeiros controlam fogo em torre residencial de Dubai. 2017 disponível em <https://veja.abril.com.br/mundo/incendio-atinge-arranha-ceu-em-dubai/>. Acesso em 12/07/2019;

VENEZIA, A. P. P. G. Avaliação de Risco de Incêndio para Edificações Hospitalares de Grande Porte: uma Proposta de Método Qualitativo para Análise de Projeto. 2011. 384f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

VOLK, R., Stengel, J., Schultmann, F., 2014. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—literature review and future needs. *Autom. Constr.* 38, 109– 127.

WANG G., X. Feng, Z. Zhang, Fire source range localization based on the dynamic optimization method for large-space buildings, *Sensors (Basel)* 18 (6) (2018), <https://doi.org/10.3390/s18061954>.

WANG J., H. Zhao, S. Winter, Integrating sensing, routing and timing for indoor evacuation, *Fire Saf. J.* 78 (2015) 111–121, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.08.009>.

WANG S.H., W.C. Wang, K.C. Wang, S.Y. Shih, applying building information modeling to support fire safety management, *Autom. Constr.* 59 (2015) 158–167, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.001>.

WANG, B., Li, H., Rezgui, Y., Bradley, A., Ong, H.N., 2014. BIM based virtual environment for fire emergency evacuation. *Sci. World J.* 2014, 589016.

WANG, W. (2017). Epilogue: Drawing together multiple perspectives of the Seattle Central Library. In R. C. Dalton & C. Hölscher (Eds.), *Take one building: Interdisciplinary research perspectives of the Seattle Central Library* (pp. 203- 209). New York, NY: Routledge.

WANG, Yu et al. Experimental study on fire response of double-glazed panels in curtain walls. *Fire Safety Journal*, v. 92, p. 53-63, 2017.

WATSON A., 'Digital buildings – challenges and opportunities', *Adv. Eng. Inf.* 25 (2011) 573–581, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.07.003>;

WU C., K. Xing, M. Clayton, Fire propagation simulation for large buildings in CFAST: using BIM to facilitate simulation process, in: *Proceedings of the 13th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*, June 27–28, 2016, Eindhoven, Netherlands.

XIE, Q. et al. The Optimization for Location of Building Evacuation Exits Considering the Uncertainty of Occupant Density Using Polynomial Chaos Expansion and Genetic Algorithm. *Procedia Engineering*, v. 211, p. 818- 829, 2018.

XU Z., X.Z. Lu, H. Guan, C. Chen, A.Z. Ren, A virtual reality based fire training simulator with smoke hazard assessment capacity, *Adv. Eng. Softw.* 68 (2014) 1–8, <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.10.004>.

XU Z., Z. Zhang, X. Lu, X. Zeng, H. Guan, Post-earthquake fire simulation considering overall seismic damage of sprinkler systems based on BIM and FEMA P-58, *Autom. Constr.* 90 (2018) 9–22, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.015>.

XUE, S. et al. Pedestrian Evacuation in View and Hearing Limited Condition: the impact of communication and memory. *Physics Letters A*, v. 380, n. 38, p. 3029-3035, 2016.

YAMAGUCHI J., TANAKA T., Temperature Profile of Window Jet Plume, *Fire Science and Technology* 24 (2005) 17-38.

YANG L., S.H. Yang, L. Plotnick, How the internet of things technology enhances emergency response operations, *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 80 (9) (2013) 1854–1867, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.07.011>.

YANG, J.; Santamouris, M.; Lee, S.E. Review of occupancy sensing systems and occupancy modeling methodologies for the application in institutional buildings. *Energy Build.* 2016, 121, 344–349. [CrossRef]

YENUMULA K., C. Kolmer, J. Pan, X. Su, BIM-controlled signage system for building evacuation, *Procedia Eng* 118 (2015) 284–289, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.428>.

YING, L.; WANG, H.; QIN, L. Accurate fire location method in high and large-span space buildings. *J. Jilin Univ.* 2016, 6, 2067–2073.

ZEN T. Yi, G. Yang Miang, H.W.G. Brian, Knowledge, attitude, and practice of design for safety: multiple stakeholders in the Singapore construction industry, *J. Constr. Eng. Manag.* (5) (2017), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001279](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001279).

ZHANG, L., Wu, X., Skibniewski, M.J., Zhong, J., Lu, Y., 2014. Bayesian-network-based safety risk analysis in construction projects. *Rel. Eng. Syst. Saf.* 131, 29–39.

ZHOU, B. Application and design requirements of fire windows in buildings. *Procedia engineering*, v. 71, p. 286-290, 2014.

ZUALKERNAN, I.A.; Aloul, F.A.; Sakkia, V.; Noman, H.A.; Sowdagar, S.; Hammadi, O.A. An IoT-based Emergency Evacuation System. In *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IoTaIS)*, Bali, Indonesia, 5–7 November 2019; pp. 62–66.