



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

CYNTHIA JORDÃO DE OLIVEIRA SANTOS

**DIRETRIZES PARA PROJETO DE SEGURANÇA CONTRA
INCÊNDIO E PÂNICO EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR
BASEADO EM DESEMPENHO E PRESCRIÇÃO**

Recife, PE
2022



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

CYNTHIA JORDÃO DE OLIVEIRA SANTOS

**DIRETRIZES PARA PROJETO DE SEGURANÇA CONTRA
INCÊNDIO E PÂNICO EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR
BASEADO EM DESEMPENHO E PRESCRIÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Bianca M.
Vasconcelos.

Recife, PE
2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco

S331d Santos, Cynthia Jordão de Oliveira
Diretrizes para projeto de segurança contra incêndio e
pânico em instituições de ensino superior baseado em
desempenho e prescrição. / Cynthia Jordão de Oliveira
Santos. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2022.

145 f. il.

Orientador: Profa. Dra. Bianca M. Vasconcelos

Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade
de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2022.

1. Proteção contra Incêndios. 2. PyroSim. 3. Pathfinder.
4. Segurança e Saúde do Trabalho. I. Construção Civil –
Dissertação. II. Vasconcelos, Bianca M. (orient.). III.
Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado
em Construção Civil. IV. Título.

CDD: 690.028

CYNTHIA JORDÃO DE OLIVEIRA SANTOS

**DIRETRIZES PARA PROJETO DE SEGURANÇA CONTRA
INCÊNDIO E PÂNICO EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO
SUPERIOR BASEADO EM DESEMPENHO E PRESCRIÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de
Pós- graduação em Engenharia Civil,
da Escola Politécnica de Pernambuco
da Universidade de Pernambuco para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia.

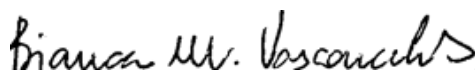
Área de Concentração:

Construção Civil

Aprovado em: Recife, 05 / 07 /2022.

BANCA EXAMINADORA:

Orientador:

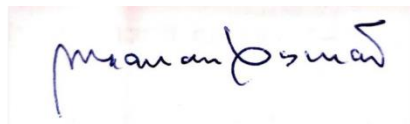


Profa. Dra. Bianca M.
Vasconcelos
Universidade de
Pernambuco

Examinadores:

 Documento assinado digitalmente
HELIO CAVALCANTI ALBUQUERQUE NETO
Data: 08/07/2022 11:34:39-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Hélio Cavalcanti
Albuquerque Neto Universidade
Federal do Piauí



Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão
Universidade de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais e familiares, pelo apoio
oferecido ao longo da minha jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, sou grata a Deus por conceder-me sabedoria para a elaboração e concretização desta pesquisa.

Agradeço à minha família por todo suporte oferecido durante o percurso acadêmico, especificamente à minha mãe Jael Jordão de Oliveira Santos, que sempre me incentivou a aceitar os desafios e nunca desistir, e ao meu pai, Edvam Teixeira Santos, por direcionar-me em minhas decisões.

Ao professor Dr. Béda Barkokébas Junior (*in memoriam*), o qual, além da orientação e atenção, forneceu-me ensinamentos que levarei por toda minha vida acadêmica e em minha memória. Agradeço minha orientadora, a professora Dr^a. Bianca Vasconcelos, que deu-me suporte e direção aos melhores caminhos para que este estudo pudesse ser concretizado. Sou grata, ainda, ao professor MSc. Victor Moraes, não só pelas orientações, mas também pela atenção e disponibilidade ofertada.

Aos meus amigos da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, especialmente a Nailson, Amanda, Bruno, Rafael, Lucas, Alyx e Edênia, e às amigas de outras universidades que me ofereceram assistência, Alessandra e Ana Carolina.

A toda equipe do Laboratório de Segurança e Higiene do Trabalho (LSHT) pela estrutura, ajuda e incentivo.

Agradeço, por fim, ao PEC e aos docentes por todo auxílio, e aos professores do LSHT: Eliane Lago, Ana Rosa Martins e Felipe Mendes.

A todos, meu obrigada.

“Para a execução de um ótimo projeto é preciso a
execução de um perfeito planejamento.”
Renê Góis

RESUMO

Acidentes provocados por incêndios são danosos tanto para o patrimônio quanto para a vida humana, fazendo com que grande parte dos acontecimentos resulte em desastres. À vista disso, torna-se conveniente a introdução de medidas para proteção e combate a incêndios, seguindo as recomendações dos parâmetros determinados pelas legislações e normativas, isto é, através do método prescritivo. Além deste, tem-se o método de auxílio para projetos de proteção e combate a incêndio e pânico baseado em desempenho, onde, podem ser utilizados softwares de simulação de dinâmica de incêndios e de abandono de edificação, os quais, a partir dos resultados obtidos, torna-se possível sugerir o dimensionamento dos acessos, equipamentos de controle de incêndio e sinalização que minimizem danos estruturais e proteção para os usuários do local. Nesse contexto, a pesquisa teve como objetivo desenvolver diretrizes para projeto de segurança contra incêndio e pânico destinado ao campus da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, a partir de requisitos de desempenho e prescrição. Para tanto, a pesquisa seguiu as seguintes etapas: revisão bibliográfica; Estudo das prescrições legais e normativas; simulações das dinâmicas de incêndio com o uso do software *PyroSim* e de evacuação através do programa *Pathfinder*, a partir das simulações do Laboratório de Segurança e Higiene do Trabalho (LSHT) (estudo piloto), Bloco A e Bloco IK, todos pertencentes a Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco; e por fim, a elaboração das diretrizes para projeto de Segurança Contra Incêndios (SCI). Os resultados das simulações apontaram que o principal tipo de transferência de calor em ocorrências de incêndios em edificações é por intermédio da radiação tendo os resultados de 140 kW na simulação no LSHT, 300 kW na simulação do bloco A e 169 kW no bloco IK; as paredes configuradas como inertes não interferem nos resultados; e todos atingiram a etapa de crescimento em relação à curva de incêndio até o término do tempo estimado para cada simulação; já os resultados do simulador de evacuação demonstram que os indivíduos desocuparam os ambientes dentro de um período de tempo que não oferece risco associado à inalação de fumaça ou queimadura. Com base nessas informações, as diretrizes foram idealizadas com o intuito de auxiliar e otimizar o trabalho do projetista em SCIE na identificação da necessidade de inserção dos equipamentos de detecção e extinção do fogo, sinalização, iluminação e dimensionamento dos acessos.

Palavras-chave: Proteção contra incêndios. *PyroSim*. *Pathfinder*. Segurança e saúde do trabalho.

ABSTRACT

Accidents caused by fire are harmful to both property and human life, making a large part of the events result in disasters. In view of this, it becomes convenient to introduce measures for protection and firefighting, following the recommendations of the parameters determined by the legislations and norms, i.e., through the prescriptive method. Besides this, there is the performance-based method for assisting in fire and panic protection and combat projects, where software simulating the dynamics of fire and building abandonment can be used. Based on the results obtained, it becomes possible to suggest the dimensioning of access, fire control equipment and signaling to minimize structural damage and protection to users. In this context, the research aims to develop guidelines for fire and panic safety design for the campus of the Polytechnic School of the University of Pernambuco, from performance and prescription requirements. To this end, the research follows the following steps: literature review; study of legal and normative prescriptions; simulations of fire dynamics using the PyroSim software and of evacuation using the Pathfinder program, from simulations of LSHT (pilot study), Block A and Block IK, all belonging to the Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco; and finally, the elaboration of guidelines for ICS design. The simulation results showed that the primary type of heat transfer in the occurrence of fires in buildings is through radiation, with results of 140 kW in the LSHT simulation, 300 kW in the A block simulation, and 169 kW in the IK block; the walls configured as inert did not interfere in the results; The results of the evacuation simulator show that individuals vacate the rooms within a timeframe that does not pose a risk associated with smoke inhalation or burns. Based on this information, the guidelines were conceived to assist and optimize the work of the designer in SCIE in identifying the need for insertion of fire detection and extinction equipment, signaling, lighting, and access dimensioning.

Keywords: Fire protection. PyroSim. Pathfinder. Occupational safety and health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico de ocorrências de incêndios.	20
Figura 2: Gráfico de ocorrências de incêndios no Brasil de acordo com a tipologia da edificação.....	21
Figura 3: Edifícios Andraus e Joelma no momento do incêndio.....	22
Figura 4: Fluxograma de aprovação de projeto.	29
Figura 5: Simulador <i>Pathfinder</i>	37
Figura 6: Triângulo do fogo.....	39
Figura 7: Curva de crescimento do incêndio.	42
Figura 8: Modelo de duas zonas/uma zona.	43
Figura 9: Fashover.	44
Figura 10: Etapas da pesquisa.	47
Figura 11: Seleção dos artigos.....	48
Figura 12: Fluxograma de metodologia (terceira etapa).	49
Figura 13: Configurações iniciais para calcular a malha.....	50
Figura 14: <i>Mesh Moderate</i>	51
Figura 15: Ferramenta de cálculo da curva de incêndio.....	52
Figura 16: Curva de incêndio e HRRPUA do queimador	53
Figura 17: Reações de queima do <i>PyroSim</i>	53
Figura 18: Localização blocos POLI.	55
Figura 19: Fluxograma de metodologia (quarta etapa).	56
Figura 20: Configurações iniciais para calcular a malha do bloco A.	58
Figura 21: <i>Mesh coarse</i> para o bloco A.....	59
Figura 22: Cálculo de curva de incêndio bloco A.	59
Figura 23: Resultado da curva de incêndio e Resultado HRR do queimador - bloco A.	60
Figura 24: Configurações iniciais para calcular a malha do bloco IK.....	61
Figura 25: <i>Mesh coarse</i> para o bloco IK.	62
Figura 26: Cálculo de curva de incêndio bloco IK.	63
Figura 27: Resultado da curva de incêndio e Resultado HRR do queimador bloco IK.	63
Figura 28: Passos para elaboração das diretrizes.....	68
Figura 29: Planta baixa do LSHT.	70
Figura 30: Ambientes do LSHT.	70
Figura 31: Projeto LSHT no <i>PyroSim</i> , vista superior.....	72

Figura 32: Projeto LSHT no PyroSim.	72
Figura 33: Projeto LSHT no <i>PyroSim</i>	73
Figura 34: <i>Slices</i> de temperatura 150s e 300s.....	73
Figura 35: <i>Slices</i> de visibilidade 150s e 300s.....	74
Figura 36: Projeto LSHT no <i>PyroSim</i> , durante a simulação.	74
Figura 37: Modelagem do LSHT no <i>PyroSim</i> , aos 160s.....	75
Figura 38: Modelagem do LSHT no <i>PyroSim</i> , aos 210s.....	75
Figura 39: Modelagem do LSHT no <i>PyroSim</i> , 300s.	76
Figura 40: LSHT no <i>PyroSim</i> , taxa de liberação de calor (HRR).	77
Figura 41: Curva de energia de condução (Q_COND).	78
Figura 42: Curva de energia de convecção (Q_CONV).....	78
Figura 43: Curva de energia de radiação (Q_RADI).....	79
Figura 44: Energia de condução, convecção e radiação.....	79
Figura 45: Localização dos termopares.	80
Figura 46: Termopar 01.....	81
Figura 47: Termopar 02.....	81
Figura 48: Termopar 03.....	82
Figura 49: Termopar 04.....	82
Figura 50: Termopar 05.....	83
Figura 51: Termopar 06.....	83
Figura 52: Termopar 07.....	84
Figura 53: Termopar 08.....	84
Figura 54: Comparativo de temperaturas.	85
Figura 55: Modelagem LSHT no <i>Pathfinder</i> , início da simulação.	85
Figura 56: Modelagem do LSHT no <i>Pathfinder</i> ,	86
Figura 57: Resultados LSHT no <i>Pathfinder</i> , tempo de evacuação.....	86
Figura 58: Resultados LSHT no <i>Pathfinder</i> , abandono dos ambientes.....	87
Figura 59: Fachadas bloco A.	88
Figura 60: Planta baixa bloco A, pavimento térreo.	88
Figura 61: Planta baixa bloco A, pavimento superior.	89
Figura 62: Auditório POLI/UPE.....	89
Figura 63: Modelagem 3D bloco A.	90
Figura 64: Simulação bloco A.	91
Figura 65: Simulação bloco A – <i>Slices</i> de temperatura.....	91

Figura 66: Simulação bloco A – <i>Slices</i> de visibilidade.	92
Figura 67: Taxa de Liberação de Calor.	93
Figura 68: Transferências de Calor.	93
Figura 69: Localização <i>thermocouple</i> no bloco A.....	94
Figura 70: Temperatura bloco A.	95
Figura 71: Simulação <i>Pathfinder</i> bloco A.....	96
Figura 72: Número de ocupantes em relação aos ambientes - bloco A.....	96
Figura 73: Saída total de ocupantes - bloco A.....	97
Figura 74: Fachada bloco IK.	97
Figura 75: Planta baixa primeiro pavimento, bloco IK.	98
Figura 76: Sala de aula K5.	98
Figura 77: Bloco IK.....	99
Figura 78: Bloco IK.....	100
Figura 79: <i>Slices</i> de temperatura – bloco IK.	100
Figura 80: <i>Slices</i> de visibilidade – bloco IK.....	101
Figura 81: Taxa de Liberação de Calor – bloco IK.	101
Figura 82: Tipos de transferência de calor – bloco IK.	102
Figura 83: Localização dos termopares – bloco IK.....	103
Figura 84: Termopares – bloco IK.	103
Figura 85: Simulação de evacuação – bloco IK.	105
Figura 86: Evacuação de ambiente por ambiente – bloco IK, terceiro andar.....	105
Figura 87: Evacuação de ambiente por ambiente – bloco IK, segundo andar.....	106
Figura 88: Evacuação de ambiente por ambiente – bloco IK, segundo andar.....	106
Figura 89: Evacuação de ambiente por ambiente – bloco IK, segundo andar.....	107
Figura 90: Saída total de ocupantes – bloco IK.....	107
Figura 91: Planta baixa — simulação em 0,0 segundos.	133
Figura 92: Planta baixa — simulação em 55,8 segundos.	133
Figura 93: Planta baixa — simulação em 77,9 segundos.	134
Figura 94: Planta baixa — simulação em 116,1 segundos.	134
Figura 95: Planta baixa — simulação em 148,1 segundos.	135
Figura 96: Planta baixa — simulação em 202,0 segundos.	135
Figura 97: Planta baixa — simulação em 247,2 segundos.	136
Figura 98: Planta baixa — simulação em 300 segundos.	136
Figura 99: Simulação de incêndio bloco A – 0s.....	138

Figura 100: Simulação de incêndio bloco A – 225s.....	138
Figura 101: Simulação de incêndio bloco A – 450s.....	138
Figura 102: Simulação de incêndio bloco A – 675s.....	139
Figura 103: Simulação de incêndio bloco A – 900s.....	139
Figura 104: Simulação de incêndio bloco A – 1125s.....	139
Figura 105: Simulação de incêndio bloco A – 1350s.....	140
Figura 106: Simulação de incêndio bloco A – 1575s.....	140
Figura 107: Simulação de incêndio bloco A – 1800s.....	140
Figura 108: Simulação de incêndio bloco A – 0s.....	142
Figura 109: Simulação de incêndio bloco A – 225s.....	142
Figura 110: Simulação de incêndio bloco A – 450s.....	142
Figura 111: Simulação de incêndio bloco A – 675s.....	143
Figura 112: Simulação de incêndio bloco A – 900s.....	143
Figura 113: Simulação de incêndio bloco A – 1125s.....	143
Figura 114: Simulação de incêndio bloco A – 1350s.....	144
Figura 115: Simulação de incêndio bloco A – 1575s.....	144
Figura 116: Simulação de incêndio bloco A – 1800s.....	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Níveis de sobrevivência durante uma ocorrência de incêndio.	45
Tabela 2: Níveis de fluxo de calor.....	45
Tabela 3: Temperatura em relação aos danos humanos.	46
Tabela 4: Tipos de malha e suas características.	58
Tabela 5: Tipos de malha e suas características.	62
Tabela 6: Ações baseadas em desempenho e prescrição.	66
Tabela 7: Ambientes LSHT e área (m ²).	71
Tabela 8: Ações baseadas em desempenho e prescrição– bloco A.	109
Tabela 9: Ações baseada em desempenho e prescrição – bloco IK.	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Normas vigentes.	32
Quadro 2: Programas de simulação de incêndio.	35
Quadro 3: Programas de simulação computacional de fuga.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

COSCIP – Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico

CBM – Corpo de Bombeiros Militar

CBMPE – Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco

CMOS – *Complement-ary- Metal–Oxide–Semiconductor*

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

EAS – Estabelecimentos Assistenciais de Saúde

FDS – *Fire Dinamycs Simulator*

HCN – Cianeto de Hidrogênio

ISB – Instituto Sprinkler Brasil

LSHT – Laboratório de Segurança e Higiene do Trabalho.

NBR – Norma Brasileira

NR – Norma Regulamentadora

SCIE – Segurança Contra Incêndios

SCIE – Segurança Contra Incêndios e Explosões

NFPA – National Fire Protection Association

NFIRS – *National Fire Incident Reporting System*

UPA – Unidade de Pronto Atendimento

HRR – *Heat Release Rate*

HRRPUA – *Heat Release Rate Per Unit Area*

OBST – Obstrução (*Obstruction*)

kW – Quilowatts

°C – Graus Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Considerações iniciais	19
1.2 Justificativa	24
1.3 Objetivos	26
1.3.1 <i>Objetivo geral</i>	26
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	26
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO	27
2.1 Projeto de Segurança Contra Incêndios e Explosões	27
2.1.1 Projeto baseado em prescrição	29
2.1.2 Projeto baseado em desempenho	33
2.2 <i>Conceitos fluidodinâmicos</i>	38
2.2.2 <i>Heat Release Rate (HRR)</i>	40
2.2.3 <i>Fases do incêndio – modelo de curva de incêndio</i>	41
2.2.4 <i>Fases do incêndio – modelo de camadas</i>	42
3 METODOLOGIA.....	47
3.1 Revisão bibliográfica	47
3.2 Estudo das prescrições legais e normativas	48
3.3 Estudo piloto (testes)	49
3.3.1 <i>Simulação dinâmica de incêndio</i>	50
3.3.2 <i>Simulação de evacuação</i>	54
3.4 Simulações - Dinâmica de incêndio e evacuação.....	55
3.4.1 <i>Simulação da dinâmica de incêndio no bloco A e bloco IK</i>	57
3.4.1.1 <i>Técnicas adotadas para simulação fluidodinâmica de incêndio no bloco A</i>	57
3.4.1.2 <i>Simulação de Evacuação do bloco A</i>	60
3.4.1.3 <i>Simulação da dinâmica de incêndio no bloco IK</i>	61
3.4.1.4 <i>Simulação de Evacuação do bloco IK</i>	64
3.5 Elaboração de diretrizes para projeto de SCI	64
4 RESULTADOS	69
4.1 Resultados do Estudo Piloto	69
4.1.1 <i>Simulação no PyroSim no LSHT</i>	71
4.1.1.1 <i>Taxa de Liberação de Calor</i>	76
4.1.1.2 <i>Condução, convecção e radiação</i>	77
4.1.1.3 <i>Temperatura dos ambientes</i>	80

4.1.2 Simulação Pathfinder	85
4.2 Resultados do Bloco A.....	87
4.2.1 Simulação PyroSim no Bloco A	89
4.2.1.1 Taxa Liberação e tipos de transferência de Calor.....	92
4.2.1.2 Temperatura bloco A	94
4.2.2 Simulação Pathfinder no Bloco A.....	95
4.3 Resultados do Bloco IK.....	97
4.3.1 Simulação PyroSim no Bloco IK.....	99
4.3.1.1 Taxa Liberação e tipos de transferência de Calor.....	101
4.3.1.2 Temperatura bloco IK	102
4.4 Elaboração das diretrizes para projeto de SCI.....	108
5 DISCUSSÕES	118
CONCLUSÕES.....	120
REFERÊNCIAS.....	122
APÊNDICE A – Modelo LSHT (PyroSim)	132
APÊNDICE B – Modelo Bloco A (PyroSim).....	137
APÊNDICE C – Modelo Bloco IK (PyroSim).....	141

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

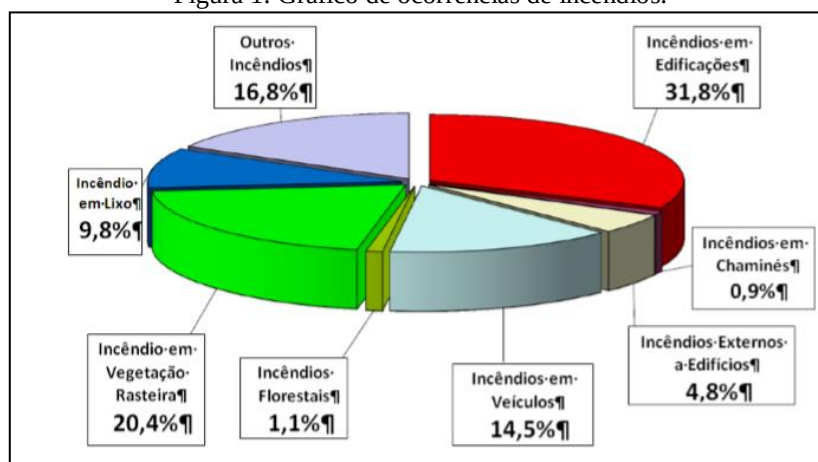
Desde a descoberta do fogo, há 7.000 a.C., a vida humana sofreu modificações, sendo um marco para a sobrevivência e evolução do homem seja pela produção de ferramentas de caça, aquecimento, seja pelo preparo de alimentos. Contudo, o desafio está no controle deste fenômeno de luz e calor que, ao provocar incêndios, trazem danos à saúde dos usuários do local, bem como perdas materiais irreparáveis (FRANCO *et al.*, 2019).

Desde a descoberta do fogo, os transtornos provocados por incêndios aumentam. Define-se incêndio, quando o fogo toma uma dimensão tamanha que dificilmente pode ser controlado (FIOCRUZ, 2016). Com o êxodo rural, as cidades tiveram crescimento acelerado, o que resultou em um aumento descontrolado de edificações horizontais e verticais (BUSATTO, 2017). Dessa forma, o aumento de ocorrências nas áreas urbanas tem como causa as diversas fontes de ignição do fogo e o tempo de chegada do corpo de bombeiros para conter o sinistro, uma vez que o sistema viário é saturado (LIMA; FONSECA, 2014).

De acordo com Souza (2019), o acontecimento de sinistros é recorrente nas áreas urbanizadas, trazendo diversos danos não apenas arquitetônicos ao patrimônio, como também físicos e psicológicos para os usuários do local, sendo fundamental, portanto, que as edificações sejam avaliadas com o propósito de minimizar os riscos.

Em uma escala mundial, um terço dos acontecimentos produzidos por incêndios ocorrem em edificações, independente de sua tipologia (unifamiliar, multifamiliar, comercial, misto e serviço) (CORRÊA, 2015). A Figura 1 ilustra o percentual de incêndios.

Figura 1: Gráfico de ocorrências de incêndios.



Fonte: Corrêa et al. (2015) *apud* IAFRS/CTIF (2012)

Nos Estados Unidos da América foram registrados cerca de 1,6 milhões de incêndios, acarretando em cerca de 3.677 mortes, além de perdas financeiras no montante de 85 bilhões de dólares, o que constituiu em aproximadamente 0,823% do Produto Interno Bruto (2008). Já na Grã-Bretanha, as perdas materiais totalizaram em mais de 1 bilhão de libras esterlinas e em torno de 800 mortes ao ano (1998); quando o Canadá obtém custos anuais próximos a 11 bilhões de dólares canadenses (1995), ao passo que na Dinamarca os custos são computados a aproximadamente 10.825 milhões de coroas dinamarquesas relativas aos acontecimentos de sinistros (2008) (SEITO *et al.*, 2008; BUCHANAN, 2001; DRYDALE, 1998; SCHAEENMAN *et al.*, 1995; QUINTIERE, 1998; MOLLER, 2001; RAMANCHADRAN, 1998 *apud* CORRÊA *et al.*, 2015).

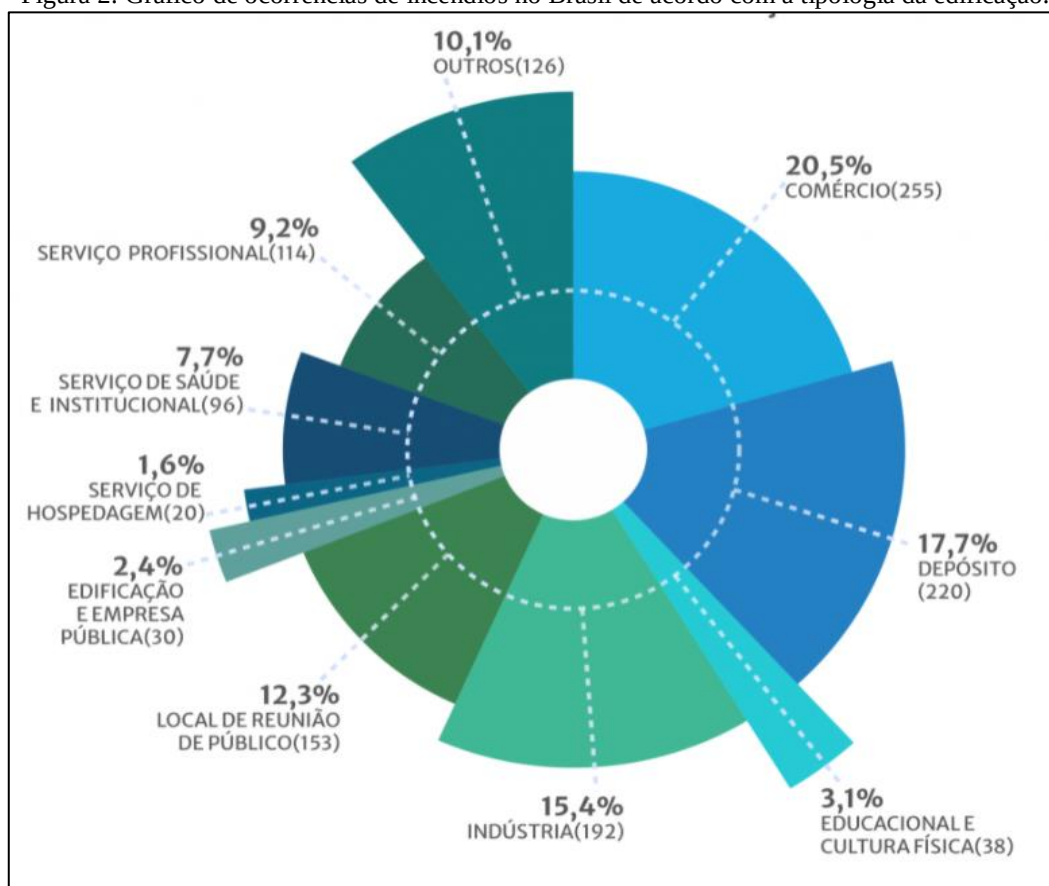
De acordo com a Secretaria Nacional de Segurança Pública do Ministério da Justiça (2013), o Brasil é considerado um dos países com o maior quantitativo de acidentes fatais relacionados a incêndios. Os dados informam que acontecem, anualmente, em média de 267.000 incêndios, sendo por volta de 700 ocorrências realizadas em um único dia, com cerca de 1.000 óbitos por ano (ANVISA, 2020).

Em contrapartida, o Instituto Sprinkler Brasil (ISB, 2021) afirma, que no Brasil é inexistente a presença de informações oficiais sobre as ocorrências de incêndios; havendo estimativas de que os casos divulgados representam por volta de 3% dos sinistros. Por sua vez, ainda que o ISB disponibilize dados de incêndios, não há um balanço dos que acometem residências. Assim, contabiliza apenas os incêndios estruturais em depósitos; comerciais (como lojas, *shopping centers*, supermercados);

indústrias; empresa pública e educacional; serviço de saúde (como hospitais, posto e clínica); local de reunião de público e serviços de hospedagem. Nesse contexto, os sinistros poderiam ser evitados com a presença de um sistema eficaz de segurança contra incêndios (ISB, 2021).

Além disso, os casos de incêndios que poderiam ser evitados com sistemas de *sprinklers*, no ano de 2020, contabilizadas do mês de janeiro a dezembro, obtiveram 1.244 eventos de incêndios estruturais (ISB, 2021). A porcentagem das ocorrências de sinistros de acordo com a classe de ocupação é apresentada na Figura 2.

Figura 2: Gráfico de ocorrências de incêndios no Brasil de acordo com a tipologia da edificação.



Fonte: ISB (2021)

A partir dos dados supracitados, cabe pontuar que as grandes tragédias provocadas por incêndios em edificações ocorreram na década de 70. No empresarial Andraus, por exemplo, localizado na cidade de São Paulo, o sinistro acometido no ano de 1972, causado por uma sobrecarga no sistema elétrico no segundo andar do edifício, deixou 16 vítimas fatais e 330 feridos (ALMEIDA; PEIXE, 2018). No mesmo Estado, houve o acontecimento com o edifício Joelma, em 1974, resultando em 179 mortes e mais de

300 feridos, tendo como causa, um curto-circuito em um aparelho condicionador de ar (CUNHA, 2016).

A Figura 3 apresenta ambos os edifícios no momento do incêndio.

Figura 3: Edifícios Andraus e Joelma no momento do incêndio.



Fonte: Liasch (2013).

A partir da ocorrência desses acontecimentos e diante das perdas humanas e materiais, reajustes de legislações e Normas Regulamentadoras foram determinados, além da elaboração de novas normativas que visassem auxiliar na implementação dos sistemas de segurança contra incêndios e explosões em edificações (MACHADO, 2018).

Além de óbitos causados por incêndios, há o risco também de pisoteamentos e bloqueio de passagens devido ao excesso de fumaça e de materiais deteriorados. Para tanto, torna-se essencial o dimensionamento dos acessos, corredores, escadas, aberturas de porta, com o intuito que a saída do ambiente seja feita com segurança pelos usuários (KIM; HAM; HAM, 2019).

A prevenção de acontecimentos de sinistros nas edificações acontece a partir da identificação dos riscos e da elaboração do projeto de combate a incêndios. Ações de natureza preventiva são responsáveis por especificar os requisitos de dimensionamento das circulações, equipamentos de combate ao fogo, definição dos locais de salvamentos e evacuação e métodos de combate ao incêndio (CAO, 2020).

Logo, as janelas, portas e escadas abertas devem ser avaliadas e dimensionadas, posto que o fornecimento de oxigênio pela ventilação natural também é um dos fatores que

pode determinar o alastramento do incêndio pela edificação, ocorrência do crescimento do fogo, e a queima generalizada, a qual se denomina de *flashover* (PRASETYA, 2020).

Dessa forma, a busca pela prevenção e minimização dos acontecimentos gerados por sinistros tem o intuito de obter fatores contribuintes para reduzir os riscos de incêndio (CAO, 2020). A respeito dessa perspectiva, o método recomendado é por meio do projeto de proteção e combate a incêndios e pânico, devidamente elaborado por um profissional capacitado para atuar na área de segurança do trabalho. Essa interventiva, portanto, é recomendada pelos profissionais de arquitetura e engenharia para ser utilizada com a meta de estabelecer medidas apropriadas de proteção contra o acontecimento de sinistros nas edificações (KOTSOVINOS, 2020).

Segundo Brand e Marzluft, (2015), na proposta e desenvolvimento dos desenhos, os projetistas devem analisar os materiais construtivos e sugerir os elementos que contenham o menor teor de inflamabilidade, para que, desta forma, o fogo não seja alimentado com substâncias combustíveis, reduzindo assim, o seu tempo de queima.

Acerca da avaliação das condições de segurança contra incêndios e explosões, podem ser utilizados dois tipos de abordagens: a primeira segue os parâmetros estabelecidos pelas legislações, ao passo que a segunda, com base no desempenho, analisa, de forma qualitativa e quantitativa, as medidas que devem ser adotadas (COSTA, 2018). Assim, na implementação das medidas de controle, é preciso que sejam efetuados estudos da edificação de acordo com sua tipologia e uso, para então lançar a proposta de um projeto de prevenção e combate a incêndio e pânico, o qual deve seguir as legislações vigentes (ROTONDARO, 2018).

São as normativas e legislações que determinam os parâmetros (MIRANDA, 2017), sendo o devido conhecimento e cumprimento fundamentais para uma proteção contra incêndios. Entretanto, juntamente com as legislações, pode haver a aplicação de método, que por meio da tecnologia computacional, possibilitará a avaliação do real quadro da edificação.

Vale ressaltar, que os materiais utilizados para a construção de qualquer tipologia de edificação devem ser considerados, pois, existem elementos resistentes ao fogo e outros

inflamáveis que potencializam o alastramento da chama e propagação do incêndio. No caso das estruturas de concreto, o fogo se dissipa por meio da transferência de calor, notadamente através das superfícies ocasionadas pela radiação, chegando até a estrutura que, por sua vez, sofre modificações químicas, acarretando em patologias no concreto, apresentadas por trincas e lascamento que provocam a sua explosão (RIOS, 2015).

Sendo assim, os componentes possuidores de substâncias inflamáveis (gerando crescimento do incêndio) e produtos que são isolantes (protegendo a edificação do alastramento da chama), desempenham estudos investigativos à exposição dos materiais e estruturas do fogo, que devem ser considerados durante a simulação de incêndio (KHAN; CASHELL; USMANI, 2020).

De certo, a exposição dos materiais a altas temperaturas decorrentes de incêndio geram deformidades nos materiais construtivos. Essa ação sob os componentes da edificação ocorre a partir de 100° C, levando à queima, ruptura e ao colapso completo da construção (WETZEL; LANGE; TICHELMANN, 2019).

Posto isso, é de suma importância uma especificação adequada dos materiais, abertura para saída dos gases e o arranjo físico, bem como a localização de acessos como pontos para fuga, meio esse imprescindível para evitar perdas humanas. E com o avanço tecnológico, o auxílio disponibilizado pelos softwares torna possível a realização de estudos acerca da dissipação do calor e do fenômeno de alastramento das chamas, buscando sanar a concentração das ondas de choque (COSTA NETO, 2015).

Nesse sentido, materiais com soluções inovadoras, em relação ao comportamento apropriado para resistência e exposição ao fogo, podem ser implementados como intervenções a componentes não inflamáveis e resistentes a incêndios, com o objetivo de gerar menores danos à edificação e, portanto, aumentar o tempo para a evacuação das pessoas (ROMERO *et al.*, 2019).

1.2 Justificativa

Em meio aos locais de ocorrência de incêndios e explosões, os que ocorrem em áreas urbanas são os que contabilizam os maiores quantitativos perdas humanas. Sendo assim,

faz-se necessária a implementação de medidas preventivas e protetoras às vidas dos usuários presentes em demais edificações (CORREIA, 2014).

A transformação dos processos auxilia no desenvolvimento organizacional, o que fornece ao mercado de trabalho mudanças ao apresentar benefícios para o método de produção das empresas, por meio de softwares com sistemas inteligentes e tecnologias inovadoras (SANTOS *et al.*, 2018).

Assim, através do estudo das construções em modelagem computacional, por meio das ferramentas tecnológicas com conceitos fluidodinâmicos, torna-se possível prever, desde o início do incêndio, a temperatura da propagação, os ambientes que serão afetados e até alastramento completo na edificação (ALMEIDA; PEIXE 2018).

Desta forma, a partir do uso dos *softwares* de simulação, torna-se possível coletar os dados indispensáveis de uma determinada ocorrência de incêndio, como o objetivo de prever o que desempenho da edificação estudada em situação de sinistro. Espera-se, portanto, que a utilização das simulações computacionais das dinâmicas de incêndio e evacuação de pessoas possa ser averiguada, detectando, por sua vez as inconsistências.

Acontecimentos gerados por sinistros trazem transtornos e destruições ao patrimônio, assim como acidentes que podem ser fatais para as pessoas presentes no local do incêndio (ROTONDARO, 2018). Desta forma, a fim de que sejam evitadas ou minimizadas essas eventualidades, é necessário identificar os riscos e oferecer medidas de controle na etapa de concepção projetual a partir da aplicação de diretrizes.

Enfim, mediante a complexidade oriunda da grande escala desta tipologia de uso, sendo esta institucional, torna-se indispensável, a realização de estudos que obtenham como objetivo a apresentar análises e orientações referentes à possibilidade de auxílio em projetos de proteção e combate a incêndios e pânico em edificações de ensino superior.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo geral*

Desenvolver diretrizes para projeto de segurança contra incêndio e pânico destinado ao campus da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. De modo geral, as diretrizes para projeto visam oferecer à universidade orientações que auxiliem o projetista e, portanto, otimize a elaboração do projeto em Segurança Contra Incêndios (SCI) no campus estudado, e subsequentemente, em todo o campi da universidade.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Para atingir o objetivo geral, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os requisitos prescritivos;
- Realizar a escolha dos softwares de dinâmicas de incêndio e evacuação;
- Efetuar simulação de um estudo piloto, a fim de testar às ferramentas computacionais destinadas a verificação de desempenho e evacuação de desempenho;
- Efetuar simulação das dinâmicas de incêndio e evacuação de pessoas nas edificações estudadas;
- Identificar as necessidades da instituição de ensino, no que diz respeito a SCI, com base nas prescrições e nas simulações.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Com o intuito de propiciar a preservação da vida e do patrimônio, o projeto de Segurança Contra Incêndios e Explosões (SCIE) é utilizado pelos profissionais da construção civil (arquitetos e engenheiros), como o projeto o responsável pela evacuação em um incêndio, salvamento e o combate ao fogo. O objetivo é proteger as pessoas e as edificações circunvizinhas do foco de incêndio, em função das consequências que um sinistro produz em escala social e econômica.

Para tanto, o projeto SCIE podem ser executados seguindo dois princípios. O primeiro, comumente utilizado, baseado em prescrição, e o segundo, o projeto baseado em desempenho da edificação. A utilização de um não anula o outro, pois os métodos se complementam, de modo a auxiliar o projetista (profissional capacitado em SCI).

Neste capítulo aborda-se a relevância do projeto de SCIE e os conceitos relacionados aos métodos baseados em prescrição e desempenho da edificação. No que tange as questões pertencentes ao desempenho das construções, apresentam-se os softwares de simulação computacional, e posteriormente, retrata-se os princípios fluidodinâmicos com o propósito de que a compreensão desses conceitos proporcione a interpretação dos resultados deste estudo.

2.1 Projeto de Segurança Contra Incêndios e Explosões

“Incêndio se apaga no projeto”. Esse pensamento resume a importância de um planejamento na edificação, notadamente na etapa do desenvolvimento projetual, haja vista o seu o poder de prevenir o acontecimento dos sinistros, os quais, ainda que ocorram, terão os danos minimizados e vidas preservadas (LUZ NETO 1995 *apud* BORNHAUSEN, 2016).

Um projeto com foco em SCIE obtém qualidades que vão além dos aspectos estéticos e acústicos, por exemplo, contendo como requisito primordial a segurança das vidas e dos bens. Assim, o profissional responsável pela elaboração do projeto de SCIE deve seguir todas as legislações, normativas nacionais e internacionais, códigos estaduais e recomendações do Corpo de Bombeiros Militar da sua região (SILVA, 2015).

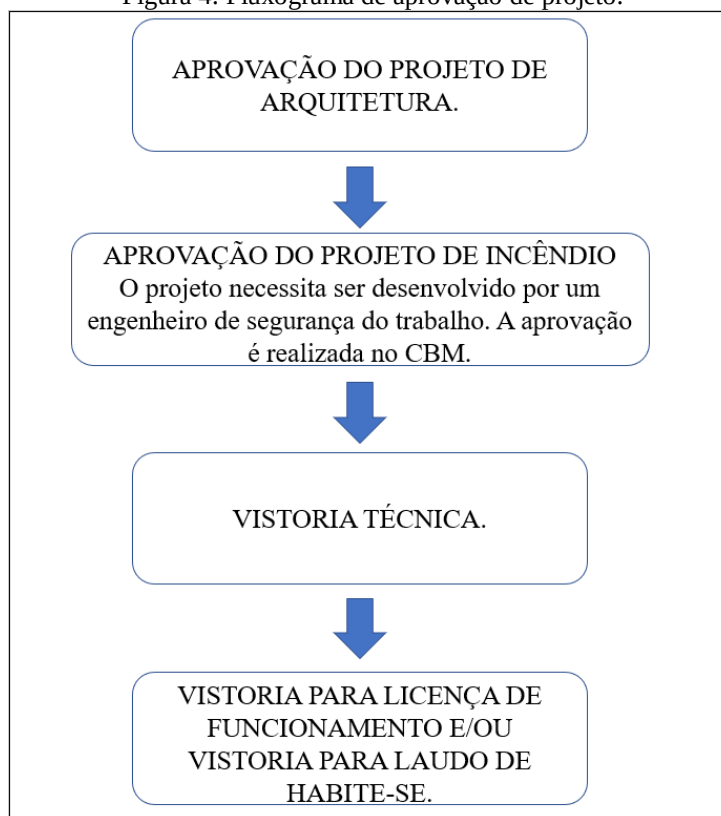
O Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco (CBMPE) é o órgão responsável pela aprovação ou reprovação do projeto e vistoria das edificações acerca da verificação do cumprimento das exigências de proteção contra incêndios em Pernambuco.

Para dar entrada ao processo são necessários os devidos documentos: requerimento assinado, memorial de incêndio, Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) original, cópia do projeto de arquitetura, cópia do projeto Segurança Contra Incêndios e Explosões (SCIE) impresso e assinado pelo especialista em engenharia de Segurança do Trabalho. Já a solicitação deve ser feita presencialmente no Centro de Atividades técnicas (CAT) da região metropolitana e, em casos de o projeto entrar em exigências de modificações, o reenvio deve ser feito com as correções e entregue, impresso e em mídia, gravado em mídia digital (CBMPE, 2013).

Nessa vereda, no momento do desenvolvimento dos desenhos, são aplicados os parâmetros indicados. Já os profissionais, esses atuam no desenvolvimento do projeto simultaneamente por meio da compatibilização dos desenhos; desta forma, especialistas como arquitetos, engenheiros civis, engenheiros de segurança, engenheiros elétricos e engenheiros hidráulicos podem alimentá-lo de acordo com a sua área de domínio (BORGES, 2018).

Com relação à aprovação projetual, seguem a seguinte maneira: aprovação do projeto arquitetônico, aprovação do projeto de incêndio pelo Corpo de Bombeiros Militar, vistoria técnica, vistoria para licença de funcionamento e/ou vistoria para laudo de habite-se (Figura 4).

Figura 4: Fluxograma de aprovação de projeto.



Fonte: Borges (2018), adaptado pela autora.

2.1.1 Projeto baseado em prescrição

A *Nacional Fire Protection Association* (NFPA), associação que tem o propósito de desenvolver códigos e normas sobre segurança contra incêndios, emitindo, portanto, a sua primeira norma em 1896 (NFPA JLA, 2020), discorrendo sobre requisitos e instalações de sistemas de chuveiros automáticos. E ao longo dos anos, a associação produziu diversas normativas, inclusive à NFPA 13.

Já na década de 60, na Suíça, o engenheiro e diretor da Associação de Proteção Contra Incêndios, Max Gretener, criou parâmetros de análise de risco de incêndio e explosões, sendo reconhecido como Método Gretener (MINERVINO, 2020). Sua publicação foi no ano de 1965 e apresentou cálculos de avaliação dos riscos direcionados a construções de grande porte, tais como edifícios e indústrias, com o objetivo de atender a imprescindibilidades em companhias de seguro (SOUZA; BACK, 2011).

O método consiste em determinar um fator γ_{fi} para cada compartimento da edificação. A segurança contra incêndio estará verificada se todos γ_{fi} forem maiores ou iguais a um

[...] O procedimento de cálculo de γ_{fi} , proposto para a normalização brasileira, segue o método tabular original de Gretener; no entanto, como inovação, é usada uma forma analítica de cálculo, a fim de eliminar as incômodas e irreais descontinuidades criadas por um método tabular, além de facilitar a mecanização do método. Algumas alterações de ordem numérica foram introduzidas para simplificar o emprego do método. O procedimento de cálculo de γ_{fi} aqui proposto conduz a resultados semelhantes aos do método tabular original. (SILVA; COELHO FILHO, 2007, p. 02).

Em 1968, o corpo de bombeiros tomou a decisão de adotar o método para auxiliar na proteção contra incêndio em edificações, à medida que os fundamentos estabelecidos pelo Método Gretener baseou normas mundiais. No Brasil, portanto, as técnicas foram empregadas e adaptadas na NBR 1442/2000 (SILVA; COELHO FILHO, 2007).

Ainda sobre o Brasil, a primeira legislação de prevenção e combate a incêndio, por sua vez, foi desenvolvida no estado de Pernambuco, no ano de 1970, com base no Decreto-Lei Nº 219, no que tange ao propósito de estabelecer os parâmetros mínimos de instalações de sistemas de prevenção contra incêndios e determinar as fiscalizações da execução (BRASIL, 1970).

Na década de 70, que foi marcada por sinistros que proporcionaram danos ao patrimônio e diversas vítimas, e a partir dessas ocorrências foram estabelecidas medidas preventivas nas legislações e normativas contra incêndio e pânico. O intuito era o de estabelecer, rotas de fuga intuitivas para pessoas não possuidoras treinamento, com o objetivo de viabilizar a evacuação dos indivíduos inseridos em edificação no momento do incêndio, de maneira rápida e segura (ALMEIDA; PEIXE, 2018).

Especificamente em 1975, as primeiras normas regulamentadoras surgiram após as ocorrências de incêndios nos edifícios Andraus e Joelma, aqui já citados. A partir dessas, emergiu a necessidade de legislações de cunho protetivo e combativo acerca de incêndios em edificações horizontais e verticais que, desde então, recebem modernizações (POLI/USP, 2010). Para tanto, em 1976 fora publicado o código de segurança contra incêndio e pânico no Rio de Janeiro, regulamentado pelo Decreto-Lei nº 894, determinando que os requisitos de prevenção contra incêndios fossem aplicados em edificações com o objetivo de resguardar a vida das pessoas e seus patrimônios (BRASIL, 1976).

Em meados dos anos 90, determinado pelo Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, foi emitida uma decisão técnica de obrigatoriedade de avaliação para projetos segurança contra incêndios. Assim, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) assumiu a responsabilidade de desenvolver normas para serem seguidas como parâmetros (POLI/USP, 2010).

Para o sucesso de um projeto e, conseqüentemente, uma edificação segura para os seus usuários, é necessário seguir as normas brasileiras, leis, ABNTs, além dos códigos estaduais, os quais detêm especificidades inerentes a situações típicas de cada cidade, tal como o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico (COSCIP) (CUNHA, 2016).

Entretanto, as precauções que deverão ser tomadas em relação à proteção contra os incêndios e pânico não somente se restringem aos ambientes internos da edificação, mas também a lugares públicos, tal como é apresentado na lei de número 13.425, “diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público” (2007, p. 01). Isso significa que, em espaços e eventos públicos, o planejamento urbano dos municípios deverá seguir as normas de proteção e combate a incêndio.

Neste sentido, para a realização do projeto baseado em prescrição, além das legislações – em que se tem a obrigatoriedade no cumprimento – há as normativas, que se caracterizam como padrões e diretrizes de caráter não obrigatório, mas que são imprescindíveis para a qualidade do projeto, e conseqüente bem-estar dos usuários futuros da edificação.

No que tange as normativas relacionadas a projetos de Segurança e Combate a Incêndios (SCI), Cunha (2016) lista as principais normas vigentes que devem ser analisadas, exposto no Quadro 1 exposto a seguir.

Quadro 1: Normas vigentes.

NORMA	TÍTULO	ENFOQUE
ABNT NBR 5627:1980	Exigências particulares das obras de concreto armado e protendido em relação à resistência ao fogo – Procedimento	Estrutura
ABNT NBR 9077:2001	Saídas de emergência em edifícios	Dimensionamento de rodas de fuga
ABNT NBR 9441:1998	Execução de sistemas de detecção e alarme	Instalações prediais
ABNT NBR 9442:1986	Materiais de construção – Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante – método de ensaio	Propriedade dos materiais
ABNT NBR 10636:1989	Paredes e divisórias sem função estrutural – determinação da resistência ao fogo – método de ensaio	Propriedade dos materiais
ABNT NBR 10897:2004	Proteção contra incêndio por chuveiro automático – Procedimento	Instalações prediais
ABNT NBR 10898:1999	Sistema de iluminação de emergência	Instalações prediais
ABNT NBR 11742:2003	Porta corta-fogo para saídas de emergência – Especificações	Propriedade dos materiais
ABNT NBR 11785:1992	Barra antipânico - Especificações	Propriedade dos materiais
ABNT NBR 12693:1993	Sistemas de proteção por extintores de incêndio	Equipamentos
ABNT NBR 13434-2:2004	Sinalização de segurança contra incêndio e pânico	Comunicação Visual
ABNT NBR 13714:2000	Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio	Instalações prediais
ABNT NBR 13860:1997	Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio	Definições
ABNT NBR 14100:1998	Proteção contra incêndio – Símbolos gráficos para projeto	Comunicação visual
ABNT NBR 14432:2001	Exigência de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimentos	Propriedade dos materiais

Fonte: Cunha (2016).

Em sintonia com o Quadro 1, tona-se possível a verificação das normativas a serem analisadas para a realização do projeto de SCI. Além das NBRs, o COSCIP-PE é utilizado como parâmetro em Pernambuco. O código determina as condições mínimas para segurança contra incêndio e a fiscalização no cumprimento das especificações indicadas no projeto, e presencialmente, nas edificações analisadas pelo Corpo Militar de Pernambuco. O propósito é determinar as condições mínimas para os sistemas de segurança contra incêndios, exigindo o cumprimento dos critérios determinados e, a após a construção ou reforma da edificação, vistorias para verificar a execução (COSCIP-PE, 2017).

De maneira geral, um projeto de segurança contra incêndio é desenvolvido para atender às legislações e normativas, sendo conhecido como modo prescritivo. Entretanto, a verificação dos métodos adequados para a segurança dos usuários da edificação, em caso de incêndios, também pode ser efetuada através do Projeto Baseado no Desempenho.

Assim, no PDB (sigla originada do termo em inglês *Performance-Based Design*), é possível analisar o comportamento da edificação, sendo uma das alternativas de verificação da performance as ferramentas de simulação computacional (BRÍGITTE; RUSCHEL, 2016), e com os resultados adquiridos, propor em projeto os sistemas de prevenção e combate a incêndios e pânico.

2.1.2 Projeto baseado em desempenho

Em um projeto de Proteção e Combate a Incêndio e Explosões deve ser considerado como o fogo desenvolver-se-á durante a ocorrência de incêndios. Sendo assim, a existência das ferramentas computacionais para simulação de incêndio pode auxiliar nas decisões e considerações projetuais (ANDERSON; WRIGHTSON; SEALOVER, 2016).

As legislações e normas devem ser obrigatoriamente seguidas, a fim de proporcionar a segurança de uma edificação. Entretanto, outros métodos, juntamente com as normas podem auxiliar no projeto de Segurança Contra Incêndios (XIE *et al.*, 2019), a exemplo do uso de simuladores computacionais das dinâmicas do fogo. Portanto, por meio das técnicas apontadas pelas leis e do auxílio ofertado pelas ferramentas tecnológicas, torna-se possível propor proteção contra incêndios e medidas para minimizar seus riscos (LETTMANN; SESSELMAN; KAWOHL, 2018).

Nesse contexto, o uso das ferramentas computacionais de simulação de fumaça obtém grande potencial para auxiliar em decisões projetuais, uma vez que o software de modelagem das dinâmicas de sinistros aponta o desempenho da edificação em situações de incêndio (BELLAS; GONZÁLEZ-GIL, 2019).

Vale ressaltar ainda, que além da demonstração do desenvolvimento da fumaça, de acordo com os materiais construtivos, por meio dos simuladores, também é possível analisar o comportamento da fumaça e concentração dos gases, atribuídas durante o período de queima (CHEN *et al.*, 2020).

Assim, diante dos estudos realizados utilizando tecnologia das dinâmicas do fogo, tornou-se possível com os softwares pertencentes ao modelo CFD (*Computational Fluid Dynamics*), que por meio da avaliação dos resultados, apresentar soluções para proteção e combate a incêndios relativos à localização adequada dos sensores de detecção, ativação dos sprinklers, sinalização e acessos adequados para evacuação (XIN *et al.*, 2017).

Atualmente, os sistemas computacionais são desenvolvidos o suficiente para efetuarem equações precisas. Desta forma, a partir dos cálculos efetuados por programas computacionais, é possível prever o comportamento da edificação em uma situação de incêndio com simulações (QUINTIERE, 2016).

A compreensão do desempenho da edificação durante um incêndio proporciona ao engenheiro de segurança do trabalho um conhecimento do comportamento do fogo, Informações como a taxa de liberação de calor, e temperaturas alcançadas são úteis para fundamentar as soluções que que minimizem danos materiais e humanos ainda na fase de projeto (DRYSDALE, 2011).

Os softwares pertencentes ao modelo CFD são baseados no modelo de duas zonas, também conhecido como modelo de camadas (SÁ, 2018), onde tem-se uma camada de fumaça de alta temperatura que dirige-se ao forro da edificação e outra camada de menor temperatura próxima ao piso.

O Quadro2, localizado a seguir, aponta alguns dos softwares de simulação de incêndio disponíveis no mercado.

Quadro 2: Programas de simulação de incêndio.

Programas de Simulação Computacional de Incêndio
<i>FDS – Modelo CFD</i>
<i>CFAST – Modelo de duas camadas</i>
<i>BehavePlus</i>
<i>SMARTFIRE</i>
<i>Cypefire</i>
<i>JASMINE</i>
<i>CFast</i>
<i>Pyrosim – Interface gráfica para o FDS</i>
<i>OZone</i>
<i>CRUNCH</i>
<i>OpenFOAM</i>

Fonte: Cajaty (2021) e Cunha (2016) adaptado pela autora.

O FDS (Fire Dynamics Simulator), PyroSim e Ozone pertencem ao grupo de softwares desenvolvido pelo National Institute of Standards and Technology (NIST) (SÁ, 2018). Em português é descrito como *Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia*, pertencente ao departamento de comércio dos Estados Unidos da América, sendo uma agência de administração de tecnologia tem como objetivo promover segurança através do meio computacional, também intitulado como Cibersegurança, estabelecendo padrões e diretrizes (SEVEN, 2018).

Dentre os softwares apresentados, o *PyroSim* destaca-se por disponibilizar uma versão completa do software grátis para estudantes, além de obter uma excelente interface gráfica e fácil modelagem da volumetria. Ademais, diversos estudos em que o *PyroSim* foi utilizado apontam a sua eficácia para a simulação das dinâmicas de incêndio.

O referido software, *PyroSim*, faz uso de nomenclaturas importantes a serem percorridas, dentre as quais:

- *Mesh*: Malha dividida em células de formatos geométricos, na qual são configuradas a resolução para o fluxo da dinâmica do fogo. A dimensão da

célula definirá a resolução necessária para as obstruções que serão inseridas no modelo;

- *Obstructions*: São as obstruções tanto referente à modelagem da construção (paredes, piso, teto) quanto aos mobiliários;
- *Vent flame*: Polígono inserido como o queimador, indicando, assim, onde o incêndio iniciará e qual a superfície que inicialmente pegará fogo, intitulada neste caso de *burner vent*;
- *Thermocouple*: São termopares, isto é, sensores de temperatura utilizados para medição;
- *Slice Planes*: Chamados de fatias, são as responsáveis por exibir a temperatura, visibilidade, pressão ou velocidade no Smokeview (janela pertencente ao simulador que demonstra os resultados).

Já em relação aos simulados de evacuação disponíveis no mercado (Quadro 3), tem-se:

Quadro 3: Programas de simulação computacional de fuga.

Programas de Simulação Computacional de Fuga
<i>Evacnet4</i>
<i>Wayout</i>
<i>Steps</i>
<i>PedGo</i>
<i>Pedroute</i>
<i>Simulex</i>
<i>GridFlow</i>
<i>Aseri</i>
<i>FDS+Evac</i>
<i>Pathfinder</i>
<i>SimWalk</i>
<i>Pedflow</i>
<i>buildingEXOD</i>
<i>Legion</i>
<i>SpaceSensor US</i>
<i>Evacuation Planning</i>
<i>MassMotion</i>
<i>Exodus</i>

Fonte: CAJATY (2021) adaptado pela autora.

Destes, o *Pathfinder*, sendo este o simulador computacional responsável pela modelagem em 3 Dimensões, que proporciona o movimento com resultados animados, e em alta qualidade, além de simular a evacuação de pessoas da edificação em emergências (THUNDERHEAD, 2019). Desta forma, se o PyroSim faz uma

representação da edificação em modelagem, das dinâmicas de incêndio, o *Pathfinder* reproduz a situação de abandono (SWENSON, 2014).

Os tópicos disponíveis na ferramenta possuem funções para o modelo de evacuação através da criação, personalização e análise do abandono dos pedestres da edificação. A representação global, avançada, de movimentos em 3 Dimensões, oferece a previsibilidade dos acontecimentos e proporciona resultados confiáveis (THUNDERHEAD, 2019). A Figura 5, exibida na página seguinte, apresenta a visão em 3D, elaborada por este programa.

Figura 5: Simulador *Pathfinder*.



Fonte: *Thunderhead* (2014).

Com o modelo de desocupação do edifício planejado pelo software *Pathfinder*, torna-se possível simular tanto os aspectos físicos na edificação denominados obstruções, (paredes, mobiliário, piso, teto) quanto os fatores de comportamento do usuário da construção, como o tempo de movimento, escolha dos acessos de saída rápida e comportamento do grupo (RONCHI *et al.*, 2010).

Assim, cabe pontuar, a partir disso, que a maneira de comportamento das pessoas em grupo influencia no momento da desocupação, uma vez que a tendência é fazer com que todos andares, juntos, direcionem-se ao acesso de saída mais próximo, com o objetivo de escapar do incêndio, sendo possível, ainda, prever o tempo de caminhada (RONCHI *et al.*, 2010).

Para a aprendizagem do programa de simulação de abandono, assim como ocorrido com o *PyroSim*, foi utilizado a apostila da empresa de simulações computacionais *Thunderhead*, onde, através desta, tornou-se possível obter os seguintes passo-a-passos: adição da modelagem 3D elaborada no *PyroSim*; seleção e nomeação dos ambientes; inserção da identificação das saídas; e a implantação das geometrias que simularão indivíduos evacuando os ambientes.

As pesquisas desenvolvidas por Gomes (2019), Matos (2017) e Figueiredo (2019) mostram a eficácia do software *Pathfinder* para a verificação do comportamento da edificação na necessidade de uma possível evacuação de emergência.

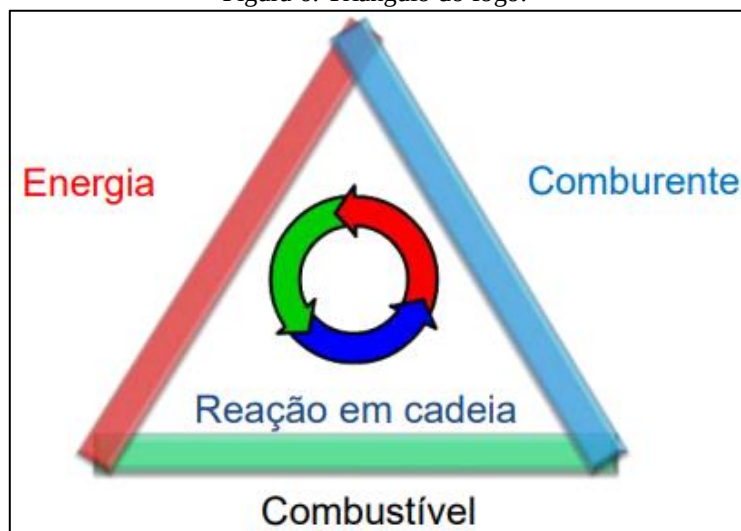
2.2 Conceitos fluidodinâmicos

Para a interpretação dos resultados apresentados pela experiência das dinâmicas de incêndio, torna-se necessário o entendimento dos princípios básicos da fluidodinâmica, tal como o surgimento da ignição inicial do sinistro, tipos de transferências de calor e fases do incêndio.

2.2.1 Conceitos iniciais

O fogo surge a partir de um ponto combinado entre a presença de ignição, oxigênio e calor. É a partir da união desses três elementos que é proporcionada a sua produção. Já a chama, por sua vez, acontece quando o material em combustão alcança sua temperatura crítica, chegando a processo de inflamação (FIOCRUZ, 2016). Para o fogo manter-se alimentado, é necessária a presença de oxigênio. Já o calor produzido pela combustão pode provocar a união de substâncias e materiais, modificando-os. Este fenômeno é intitulado pela literatura como triângulo do fogo (Figura 6), sendo indispensável a existência desses três elementos.

Figura 6: Triângulo do fogo.



Fonte: Cajaty (2021).

Assim, para que o fogo se mantenha estável, é necessário material combustível e energia térmica suficiente para manter a queima. O aumento da temperatura acontece quando a energia cinética liberada obtém a velocidade de ação das partículas, velocidade igual à aceleração que é produzida. Tal temperatura dependerá dos métodos de transferência de calor, sendo eles a condução, convecção e radiação (ZABEU, 2011).

A condução é a transferência do fluxo de calor do contato das moléculas em superfícies sólidas; a convecção acontece no transporte de calor entre fluidos ou de materiais fluidos para um corpo sólido, e a radiação, por intermédio de ondas eletromagnéticas (BRAGA; NETO; SALAZAR, 2016).

Entende-se por condução um sistema de transferência do fluxo de calor através de dois corpos que possuem diferentes temperaturas, ocorrendo a partir do material que detém a temperatura elevada para o mais frio (FLORES; ORNELAS; DIAS, 2016).

Segundo Andrade (2018), para obter a melhor compreensão entre a troca de calor nos corpos, é preciso entender sobre o comportamento das atividades atômicas e moleculares. Na passagem de calor entre as superfícies, o grau de agitação das moléculas sofre alterações decorrentes da desigualdade entre as temperaturas, o que faz as partículas energéticas, quando em processo mecânico de interação molecular, se chocarem com as partículas de menor energia cinética.

Exemplificando, toma-se como exemplo a transferência de temperatura entre uma fonte de calor e uma barra metálica. Primeiramente, no contato com o material, ainda no início do processo, nota-se a barra fria; entretanto, após um tempo em ligação com o fogo, a superfície tende a alcançar a mesma temperatura da chama, ou seja, a movimentação entre as moléculas da barra metálica atinge a mesma temperatura da fonte de aquecimento (ANDRADE, 2018).

Diferente do que ocorre na condução, a transferência de calor por convecção não utiliza a movimentação entre átomos e moléculas, mas sim o fluido de calor (através dos meios de propagação de líquido ou de gases), com transporte de energia da substância de maior para a de menor temperatura, aquecendo-a (KREITH; BOHN, 1997 *apud* PEREIRA FILHO, 2016).

Nessa ótica, as partículas possuem diferença de densidade devido à temperatura em que se encontram, e é através disso que ocorre o método de convecção. O elemento aquecido é mais leve em relação às partículas de temperatura fria, que são densas. Dessa forma, ocorre não apenas a troca de posicionamento, como também a aproximação da substância fria à fonte de calor (Figura 8). O processo, por sua vez, tende a se repetir até que todas as partículas alcancem o mesmo grau de calor (ANDRADE, 2018).

Na radiação, ao contrário dos tipos de transferência de calor descritos acima, não é necessário obter um meio para sua propagação, pois sua energia térmica é transferida por intermédio de ondas eletromagnéticas, as quais permitem que a irradiação seja realizada no vácuo (PEREIRA FILHO, 2016).

De maneira geral, todos os corpos emitem energia térmica por radiação. Esse fenômeno é perceptível aos olhos humanos apenas em casos de altas temperaturas, tal como brasa incandescente. O método para verificação da troca de energia entre os corpos é com a utilização de aparelhos de câmera térmica (ANDRADE, 2018).

2.2.2 Taxa de Liberação de Calor (TLC)

O Heat Release Rate (HRR), ou em português Taxa de Liberação de Calor (TLC), é conceituado como a energia liberada durante a combustão, representando a dimensão do incêndio, e consequentemente, possibilitando avaliar as reações ao fogo, tais como a

fumaça e a toxicidade dos gases produzidos durante um incêndio (BABRAUSKAS; GRAYSON, 1992).

Com técnicas sendo aprimoradas desde os anos 80, os instrumentos de medição auxiliam na detecção da TLC e a vazão dos produtos produzidos durante a combustão, sendo estas informações imprescindíveis para efetuar uma modelagem do incêndio (BABRAUSKAS; GRAYSON, 1992).

2.2.3 Fases do incêndio – modelo de curva de incêndio

É possível prever, a duração e intensidade do incêndio a partir do dimensionamento e levantamento dos materiais inflamáveis ou resistentes envolvidos no sinistro. Diante disso, torna-se de suma importância o conhecimento das fases do incêndio para relacionar com a temperatura/tempo em que a edificação seja consumida pelo fogo ou entre em colapso (REBOLEDO, 2010).

Com base nessa perspectiva, são caracterizadas as fases do incêndio da seguinte forma: fase inicial; de crescimento; desencadeamento; e por último, a de decadência, (PANNONI, 2008 *apud* ABDALA, 2015).

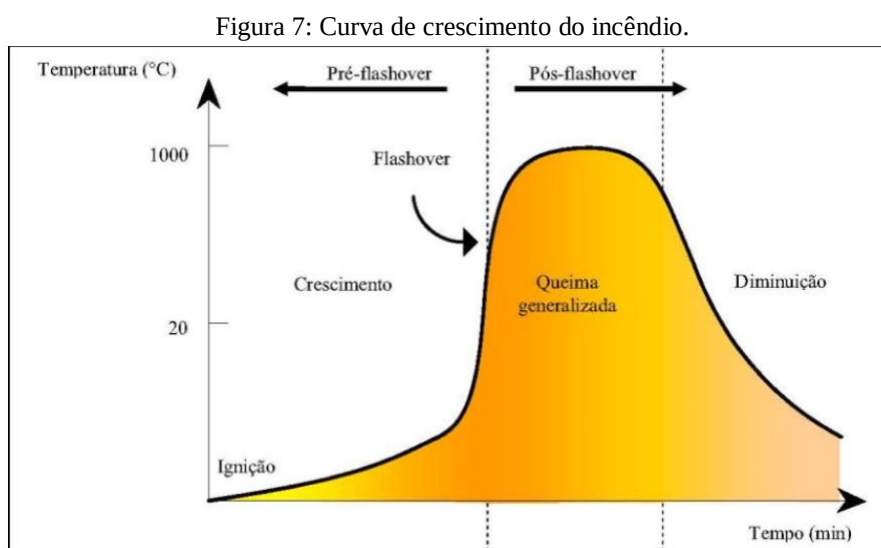
A fase inicial é iniciada após uma ignição gerada por um material que obtenha substância combustível e em contato com o oxigênio (abundante no ambiente em sua fase inicial), entrando em combustão. Assim, o incêndio é diretamente ligado ao local de início, caracterizado como foco do incêndio, à medida que a temperatura do fogo permanece estável no interior da edificação, progredindo lentamente, aquecendo e produzindo gases apenas no ambiente e nas proximidades onde o foco se encontra (FLORES; ORNELAS; DIAS, 2016).

A fase de crescimento é a etapa em que o fogo começa a se alastrar pelo ambiente e consome outros materiais combustíveis presentes no local, aumentando assim, a sua capacidade de propagação, ainda que anteceda a fase inflamação generalizada. O ar, rico em oxigênio, ao possuir maior densidade, é atraído pelas chamas e o quente vai de encontro ao forro da edificação, transferido por convecção (OLIVEIRA, 2005).

No desencadeamento total ocorre o ápice da queima, a qual, entre as três etapas existentes, suga o maior teor de oxigênio. O fluxo de calor, portanto, é liberado pelo fogo e estende-se por toda a edificação através da condução, convecção e radiação, alcançando temperaturas acima de 600 °C (GOMES, 2014).

Para essa inflamação generalizada, dá-se o nome de Flashover, configurado como um fenômeno decorrente do processo em que todos os materiais se encontram em combustão, acometidos através da transmissão do fluxo de calor. Vale salientar, ainda, que é nesse estágio no qual ocorrem os danos estruturais na edificação (GOMES, 2014).

Na fase final ou diminuição, em que os materiais combustíveis e oxigênio do local já foram consumidos pelo fogo, a chama perde a força. Isto posto, inicia, por conseguinte, o declínio e extinção do incêndio (OLIVEIRA, 2005). A Figura 7 ilustra a curva de aumento de temperatura produzida por essa fase.



Fonte: Farias (2019).

2.2.4 Fases do incêndio – modelo de camadas

O modelo de camadas, também conhecido como modelo de duas zonas, é um dos fenômenos de propagação de incêndios o qual é iniciado com a liberação de energia por algum material em combustão. Com isso, a fumaça proporcionada pela queima dirige-se em direção ao forro da edificação, que posteriormente, encaminha-se em direção às paredes, aumentando a temperatura e gerando uma camada de gases (KIRYU, 2017).

Na ausência da extinção do fogo, o incêndio pode evoluir do processo de duas zonas para uma única zona. Isso acontece quando se tem um aumento de temperatura superior a 500°C e nos casos em que a camada de gases superior preenche 80% do ambiente verticalmente (CADORIN *et al.*, 2001; NP EN 1991-1-2, 2010 *apud* SÁ, 2018), conforme observado na Figura 8.

Figura 8: Modelo de duas zonas/uma zona.



Fonte: Sá (2018).

A partir da temperatura elevada no ambiente, é gerada a transformação química nas moléculas dos materiais, a fim de produzir a conversão de estado de modo forçado, ou seja, os elementos sólidos passam a produzir gases originados pela ação do calor, os quais são denominados pirólise (NOGUEIRA, 2017).

Com a alta temperatura promovida pela radiação térmica, ocasiona-se a transformação molecular, o que gera o alcance do ponto de ignição dos materiais e provoca uma queima instantânea. O elevado calor produzido no ambiente faz acontecer a combustão de todos os elementos simultaneamente, resultando na generalização do fogo, o qual já fora denominada como flashover (Figura 9) (TORERO, 2011).

Figura 9: Fashover.



Fonte: Life safety services (2017); Fernandes (2012).

2.2.5 Níveis de sobrevivência

O cenário apresentado durante um sinistro é determinante para preservar a saúde das pessoas presentes na edificação ou ocasionar fatalidades. Para tanto, é necessário obter o conhecimento dos fatores que possam acarretar danos humanos, para que, então torna-se possível interpretar perdas em casos de incêndios acometidos ou verificar os dados de simuladores.

Desta forma, as circunstâncias que geram possibilidade de levar o indivíduo a óbito são: temperatura igual ou superior a 120°C ; fluxo de calor acima de $2,5 \text{ kW/m}^2$; volume de oxigênio abaixo de 12%; monóxido de carbono (CO) ou cianeto de hidrogênio (HCN) de 0,5% por cerca de 5 minutos (CAJATY, 2021), como pode ser verificado na Tabela 1.

Tabela 1: Níveis de sobrevivência durante uma ocorrência de incêndio.

Níveis de sobrevivência durante uma ocorrência de incêndio	
Temperatura	120°C
Fluxo de calor	2,5kW/m ²
Volume de oxigênio	12%
CO	0,5% por 5 min.
HCN	0,5% por 5 min.

Fonte: LAWSON (2009); SVENSSON (2008) *apud* CAJATY (2021), adaptado pela autora.

O que diz respeito exclusivamente ao fluxo de calor, pode-se verificar detalhadamente as consequências obtidas a cada nível de exposição a partir da tabela 2 apresentada a seguir, a qual particularizam essas informações.

Tabela 2: Níveis de fluxo de calor.

Níveis de fluxo de calor	
Fluxo de calor (kW/m ²)	Consequência
1	Fluxo de calor em um dia claro de sol na superfície da terra com radiação direta. Valor limite de dor para uma pele não protegida. Uma queimadura de sol pode ocorrer entre 20 e 30 minutos.
2 - 5	1 m de distância de uma lata de lixo em chamas.
10 - 70	Acima de uma Vela (4 a 28cm do centro da chama).
13	Os gases voláteis da madeira irão sofrer ignição quando expostos a uma chama.
20	Este nível de fluxo de calor representa o fluxo de calor no nível do chão em um quarto no início da generalização do incêndio (flashover).
29	Ignição espontânea da madeira
80	A generalização do incêndio está estabelecida no ambiente.

Fonte: PUSER (2002); LEWIS (1995) *apud* CAJATY (2021) adaptado pela autora.

Em relação à temperatura, é possível identificar de acordo com a Tabela 3, que a exposição a humana acima dos 48°C se caracteriza como danosa a saúde, ocasionando por sua vez, queimaduras de 1º grau, sendo letal a exposição a partir dos 72°C de temperatura.

Tabela 3: Temperatura em relação aos danos humanos.

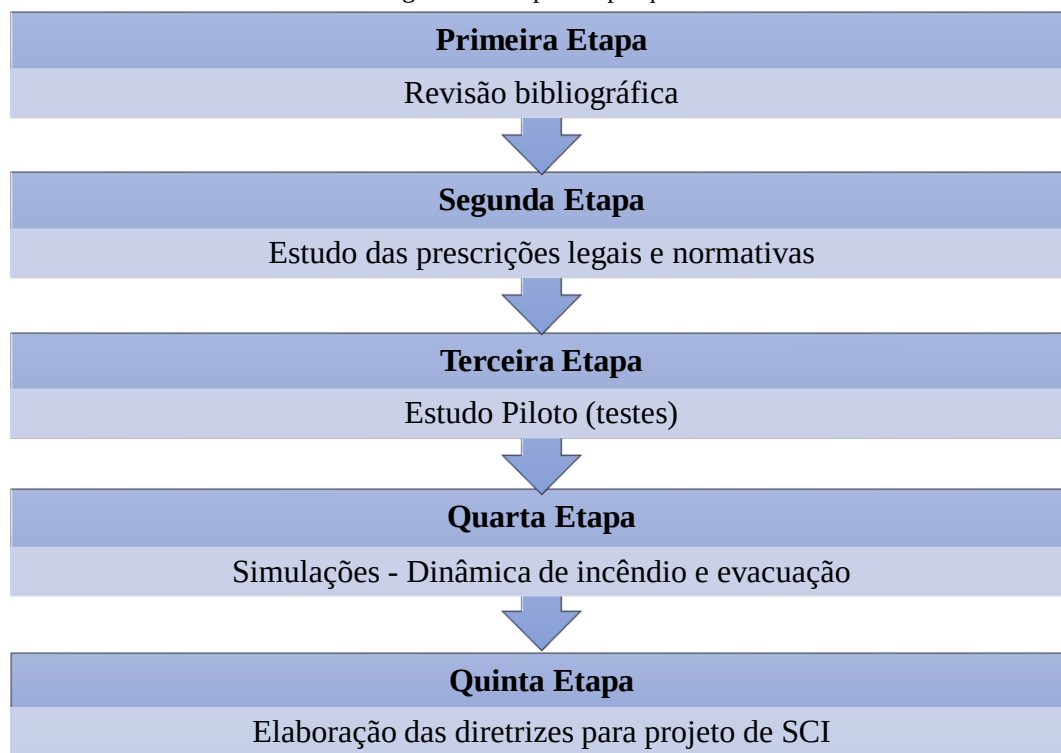
Temperatura em relação aos danos humanos	
Temperatura (°C)	Consequência
37 °C	Temperatura normal do ser humano.
43 °C	Temperatura interna corporal humana que pode causar morte.
44 °C	Temperatura da pele humana quando começa a sentir dor.
48 °C	Temperatura da pele humana causando queimadura de 1º grau.
54 °C	Temperatura da água quente que pode causar uma queimadura em 30 segundos.
55 °C	Temperatura da pele humana com bolhas e queimadura de 2º grau.
62 °C	Temperatura quando o tecido humano torna-se entorpecido.
72 °C	Temperatura quando o tecido humano é imediatamente destruído.

Fonte: LAWSON (2009); SVENSSON (2008) *apud* CAJATY (2021), adaptado pela autora.

3 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho abrangeu as seguintes etapas: revisão bibliográfica (primeira etapa); estudo das prescrições legais e normativas (segunda etapa); elaboração de testes de simulação por meio de um estudo piloto (terceira etapa); efetuação das simulações das dinâmicas de incêndios e evacuação (quarta etapa); e, por fim, a elaboração das diretrizes para projeto de Segurança Contra Incêndio e Pânico (quinta etapa). A Figura 10, a seguir, ilustra essas etapas metodológicas.

Figura 10: Etapas da pesquisa.

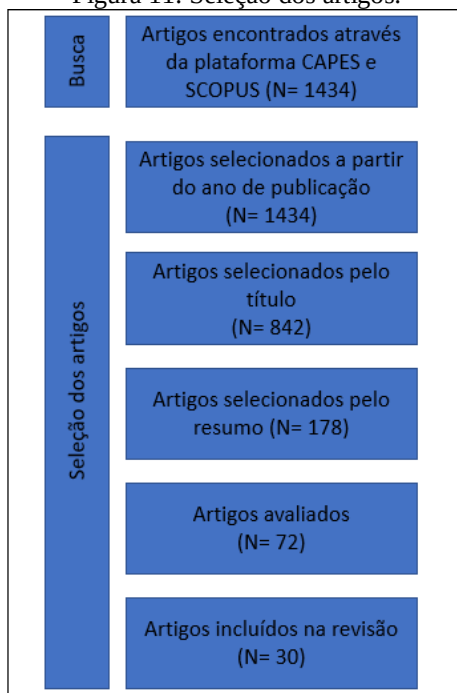


Fonte: A autora.

3.1 Revisão bibliográfica

No primeiro momento foram realizadas pesquisas bibliográficas através da revisão, em artigos da plataforma de periódicos CAPES e do banco de dados SCOPUS, pelas palavras-chave “fire”, “design”, “protection”, com o boleano “AND” entre elas, além da utilização do boleano “OR” entre as barras de buscas avançadas. As primeiras palavras-chave foram aplicadas no título e as segundas no assunto. O processo de seleção dos artigos é demonstrado na Figura 11.

Figura 11: Seleção dos artigos.



Fonte: A autora.

Pesquisas como monografias, dissertações e teses foram identificadas através da plataforma acadêmica Google Scholar, ao utilizar como critério de busca as pesquisas publicadas nos cinco últimos anos. Para o conhecimento dos parâmetros em que o projeto se desenvolveu, foram aplicadas ao estudo as legislações e normativas: leis estaduais, normas técnicas (NR, NT, ABNT NBR) e o COSCIP-PE (Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico de Pernambuco).

3.2 Estudo das prescrições legais e normativas

Com base numa pesquisa documental e com o propósito de adquirir os conhecimentos em relação aos projetos com base em prescrição, foram analisados os seguintes documentos:

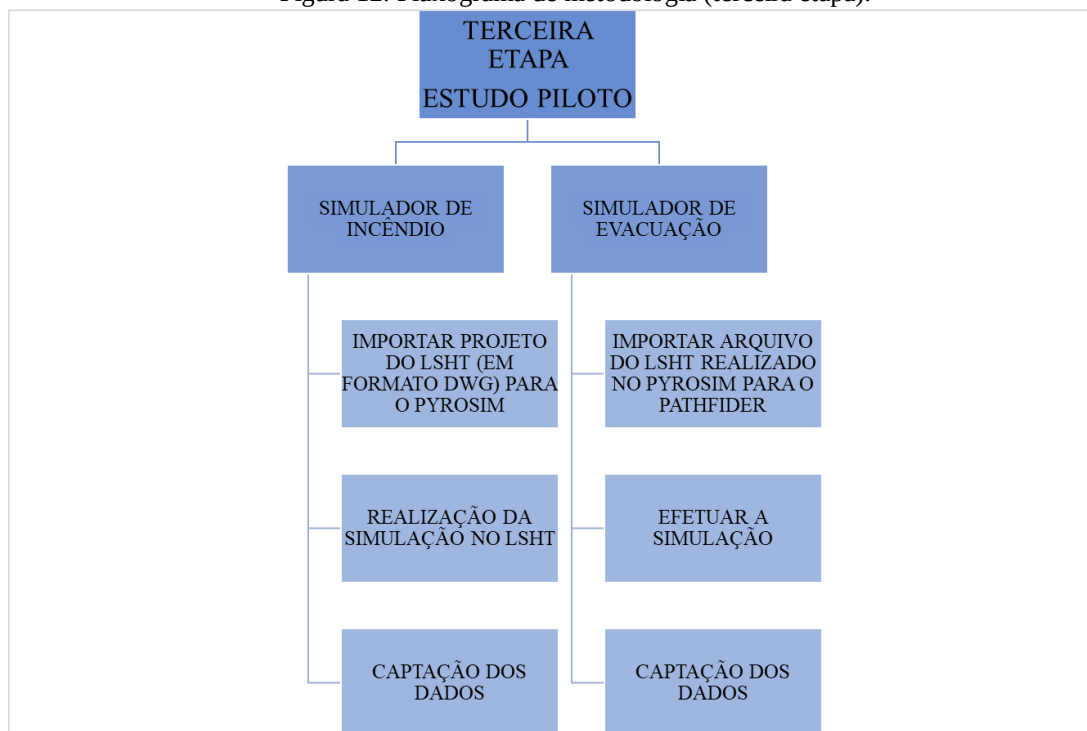
- ABNT NBR 9441: 1998: Execução de sistemas de detecção e alarme;
- ABNT NBR 12693: 1993: Sistemas de proteção por extintores de incêndio;
- ABNT NBR 13714: 2000: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio;
- ABNT NBR 10897: 2004: Proteção contra incêndio por chuveiro automático – procedimento;
- ABNT NBR 10898: 1999: Sistema de iluminação de emergência;

- ABNT NBR 13434-2: 2004: Sinalização de segurança contra incêndio e pânico;
- ABNT NBR 9077: 2001: Saída de emergência em edifícios; e
- Código de Segurança Contra Incêndios e Pânico do estado de Pernambuco (COSCIP-PE).

3.3 Estudo piloto (testes)

O estudo piloto teve como objeto de estudo o Laboratório de Saúde e Segurança do Trabalho (LSHT) da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE), com base no propósito de demonstrar, além das simulações, as funcionalidades dos softwares *PyroSim* e *Pathfinder*. O fluxograma a seguir aponta as etapas seguidas para a realização do estudo piloto (Figura 12).

Figura 12: Fluxograma de metodologia (terceira etapa).



Fonte: A autora.

Sendo assim, de acordo coma Figura 12, para o estudo piloto foram efetuadas duas simulações, simulação de incêndio e simulação de evacuação. Na primeira o projeto do LSHT foi importado para o *PyroSim* e foram efetuados o modelo 3D, então a simulação foi realizada e os dados foram captados. Na Segunda, foi importado o modelo em 3 Dimensões do *PyroSim*, para o *Pathfinder*, as configurações de abandono foram inseridas, e, por fim, a simulação foi executada e os dados foram captados.

3.3.1 Simulação dinâmica de incêndio

O estudo seguiu as etapas da simulação com base no programa computacional *PyroSim*, sendo:

- 1) Importação do projeto em DWG para o *PyroSim* (estudo piloto);
- 2) Implantação da malha (*MESH*) e sua configuração.

A princípio, a *Mesh* foi adicionada com as seguintes dimensões: X inicial 0,0m; X final 14,00m (comprimento); Y inicial 0,00m; Y final 12,00m (largura); Z inicial 0,0; Z final 3,00m (altura), sendo estas as dimensões que comporta o modelo tridimensional. Com o intuito de obter o cálculo adequado da resolução da malha, torna-se necessário aplicar o Heat Release Rate (HRR) compatível. Para tanto, foi inserido o valor 1.110kW para que resultassem em um diâmetro de fogo característico de 1,0 (ou D/dx de 10), valor este compatível com os cálculos efetuados de acordo com as dimensões da malha. Com o uso do site de configuração de malha para FDS, *Salah Benkorihi – Fire Safety Engineering* (BENKORICHI, 2022), pôde ser calculado as dimensões da malha juntamente com a TLC, para que pudessem ser gerados os resultados com o quantitativo de células que devem ter em cada direção X, Y e Z, intitulado de IJK. A Figura 13 apresenta os valores inseridos no site para em seguida, serem calculados. Os valores referentes à densidade, calor específico, temperatura ambiente e gravidade permaneceram com os valores originais do site.

Figura 13: Configurações iniciais para calcular a malha.

Enter the x, y, z dimensions (meters) and your expected HRR

X _{min} 0	X _{max} 14
Y _{min} 0	Y _{max} 12
Z _{min} 0	Z _{max} 3

Heat Release Rate (Q) kW

Density (ρ_∞) kg / m³

Specific Heat (c_p) kJ / kg-K

Ambient Temperature (T_∞) K

Gravity (g) m / s²

To use the old MESH Size Calculator, [click here](#)

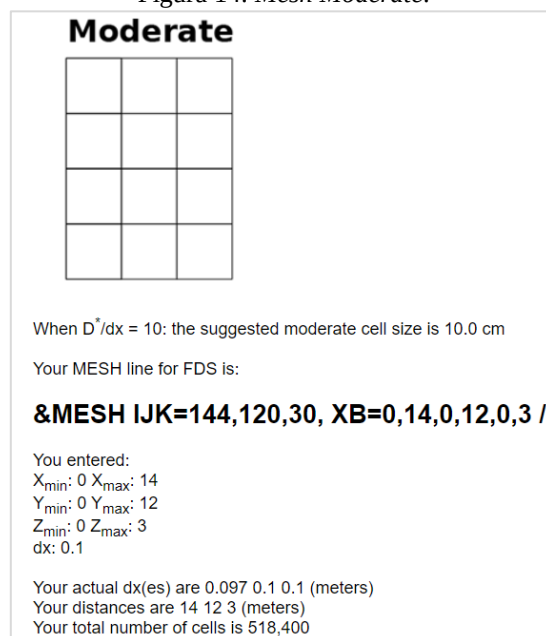
Fonte: A autora.

O resultado dos cálculos apresenta três tipos de opções de malha: *coarse*, *moderate* e *fine*. Quanto mais fina a malha maior será a precisão dos resultados. Em contrapartida, o tempo para a finalização da simulação aumenta, já que os cálculos das equações serão refinados, e por vezes, recai em erros na simulação. Conforme estudo realizado por Cunha (2016).

O emprego da malha fina impossibilitava o processamento da simulação nos computadores disponíveis. A mensagem de erro relatando a falta de memória surgia imediatamente após o comando de início, cancelando automaticamente a simulação. Segundo Gissi (2010), a falta de velocidade do processador determina o tempo de cálculo, enquanto a quantidade de memória RAM indica a quantidade de células suportada. O autor afirma também que os atuais computadores pessoais (desktops) são capazes de suportar malhas com apenas alguns poucos milhões de células. De fato, o resumo do tempo do processamento das simulações [...], evidencia como os recursos computacionais disponíveis condicionam o refinamento de malha suportado (CUNHA, 2016, p. 99).

Desta forma, o escolhido para a presente pesquisa foi o *moderate*, como mostra a Figura 14.

Figura 14: Mesh Moderate.



Fonte: A autora.

De acordo com a Figura 14. considerando o tamanho entre as células de 10 cm (0,1 x 0,1 x 0,1), tem-se a quantidade de células contidas em cada uma das direções de 144 em X, 120 em Y e 30 em Z, com o total de 518.400 células;

- 3) Modelagem tridimensional e adição das obstruções;
- 4) Caracterização dos materiais;
- 5) Configuração das superfícies;

- 6) Inserção das aberturas e ventilações;
- 7) Cálculo da curva de incêndio. Com o auxílio da ferramenta de fogo calculadora de rampa de incêndio, desenvolvido pela *The University of Texas at Austin Mechanical Engineering Cocokrell Scholl of Enegineering*, foram calculados a curva de incêndio de acordo com o HRR inserido no cálculo da malha com o valor de 1110 kw. Essas informações podem ser visualizadas na Figura 15.

Figura 15: Ferramenta de cálculo da curva de incêndio.

Select Input Parameters

Fire Growth Coefficient

☐ Slow: 0.00293 kW/s² ☐ Medium: 0.01172 kW/s²
☒ Fast: 0.0469 kW/s² ☐ Ultrafast: 0.1876 kW/s² ☐ Other:

Custom: kW/S²

Fire Parameters

Select when the t-squared fire ramp should stop:

☒ Maximum HRR: _____ kW ☐ Maximum Time: _____ S

1110

Additional Output Parameters (optional)

Select additional outputs:

☐ Downloadable CSV file ☒ FDS HRR Ramp Text

FDS HRR Vent Size:

1 X 1

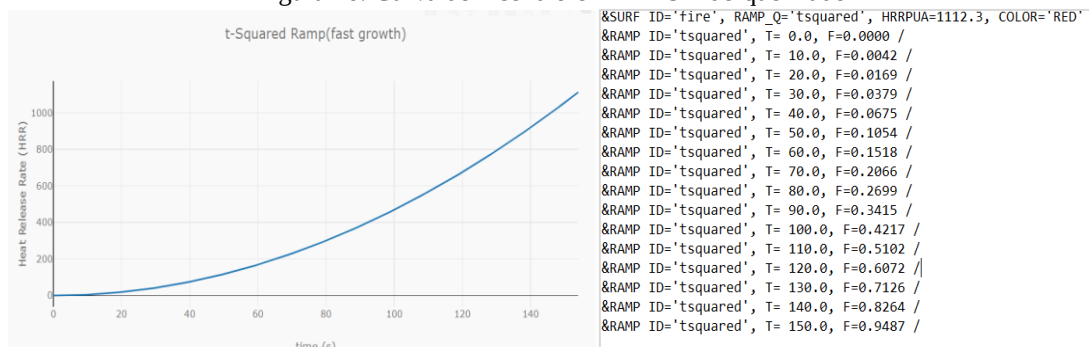
CALCULATE T-SQUARED FIRE RAMP

Fonte: A autora.

Conforme exibe a Figura 15, foi escolhido o coeficiente de crescimento de fogo como rápido (*fast*); e adição do queimador (*vent flame*) com as dimensões de 1,0m x 1,0m na sala dos alunos pesquisadores.

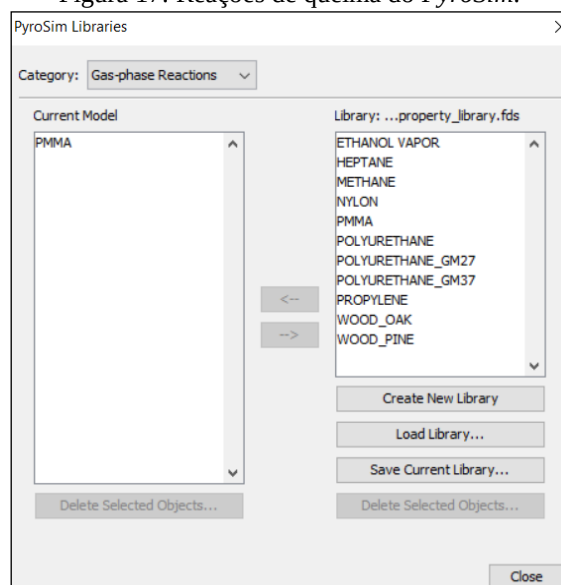
Os cálculos resultaram em um HRRPUA (Taxa de Liberação de Calor por Unidade de Área) de 1112.3 kW/m² e *Ramp-up time* (curva de incêndio com t²) em 150s. A Figura 16 a seguir ilustra o *fireramp* e os cálculos efetuados com o resultado do HRR para o queimador.

Figura 16: Curva de incêndio e HRRPUA do queimador



Fonte: A autora.

- 8) Escolha da reação de queima. As reações de queima encontradas na biblioteca do *PyroSim* são as apresentadas na Figura 17.

Figura 17: Reações de queima do *PyroSim*.

Fonte: A autora.

Foi tentado inserir outro tipo de reação não pertencente a sua biblioteca, entretanto, não foram apresentados os resultados corretamente, gerando um erro de simulação. Logo, conforme exibe a Figura 17, entre as reações disponibilizadas a escolhida foi a PMMA (Poli Metacrilato de Metila), já que é um polímero, tendo, portanto, proximidade ao material plástico rígido dos aparelhos elétricos de pequeno porte;

- 9) Inserção dos termopares em todas as portas à 2,00m do piso e apenas um a 0,40m próximo ao *vent flame*. Os *Thermocouples* foram adicionados a partir do comando *Device*, nas aberturas de acesso, isto é, nas portas da sala dos

professores, sala de reuniões, biblioteca, hall de entrada para o LSHT, anfiteatro e no início do corredor, totalizando sete sensores de temperatura a 2,00m do piso. Além destes descritos, acrescentou-se um termopar próximo ao Vent flame a 0,40m do piso, com a finalidade de verificar a temperatura emitida pelo queimador;

- 10) Adição das *Slices* 2D de temperatura e de visibilidade. Também denominadas como fatias, as *slices* mostram a temperatura em cores, vermelha para altas temperaturas, verde para temperaturas intermediária e azul para a temperatura habitual do ambiente. Sendo assim, foram postos três *Slices* de temperatura em X e uma em Y próximo ao *ventflame*, (tendo como objetivo visualizar a temperatura em todos os ambientes em ambos os eixos) totalizando 4 *slices* de temperatura. Ademais, foram inseridos três *Slices* de visibilidade em Y, com o propósito de visualizar a viscosidade da fuligem produzida pela chama;
- 11) Configuração dos parâmetros da simulação para 300s e início da simulação;
- 12) Apresentação dos resultados no *Smokeview*.

Para a simulação de evacuação de pessoas, foi utilizado o programa *Pathfinder* que, igualmente ao *PyroSim*, pertence à empresa de *software Thunderhead*. Nesta pesquisa, o propósito do *PyroSim* foi modelar as dinâmicas de incêndios. Posto isso, a utilização do software de simulação, no que tange à desocupação durante incêndios, proporciona a capacidade de simular a evacuação, a possibilidade de avaliar as rotas de fuga e identificar inconsistências.

3.3.2 Simulação de evacuação

A partir da modelagem realizada no *PyroSim*, e após a simulação das dinâmicas de fumaça exibida no *Smokeview*, a modelagem em 3D foi inserida no *Pathfinder*. Com isso, foram efetuados os passos para as configurações de evacuação de pessoas no estudo piloto, ou seja, no LSHT.

Para a realização da simulação, foram praticados os seguintes pontos:

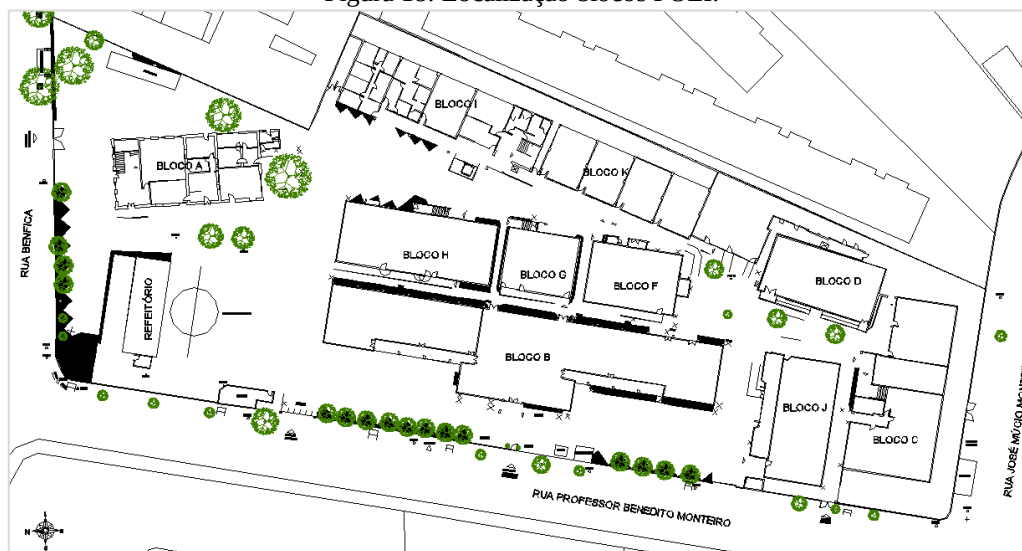
- 1) Seleção dos ambientes;
- 2) Nomeação dos ambientes;
- 3) Configuração das aberturas;

- 4) Configuração da saída geral;
- 5) Inserção dos polígonos de evacuação;
- 6) Implantação de 40 geometrias para simular o abandono dos indivíduos dos ambientes;
- 7) Troca de geometrias para pessoas;
- 8) Configuração dos perfis dos indivíduos e;
- 9) Realização da simulação.

3.4 Simulações - Dinâmica de incêndio e evacuação

Como objeto de estudo, tem-se uma instituição de ensino superior, a Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE) localizada no bairro da Madalena, na cidade do Recife. A imagem a seguir mostra a localização dos blocos (edifícios) da POLI/UPE (Figura 18).

Figura 18: Localização blocos POLI.



Fonte: LSHT (2018).

A instituição é composta por 10 blocos, os quais possuem salas de aulas, laboratórios (pesquisa e de informática), biblioteca, auditório, e salas utilizadas para as atividades administrativas do campus, além da cantina localizada na área externa e o estacionamento. Sendo, portanto 7.791,06m² de área construída.

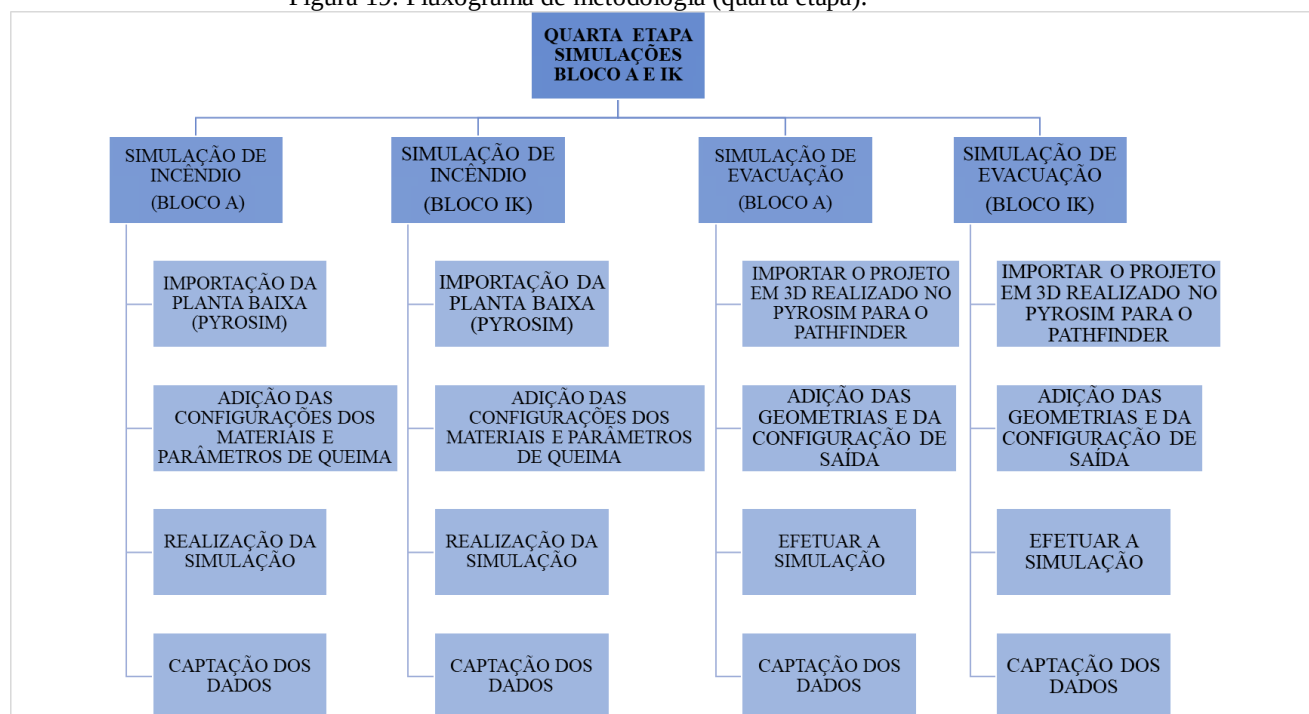
A POLI/UPE foi fundada em 1912, entretanto o primeiro bloco da instituição é pertencente ao século XIX, bloco A (tombado como patrimônio histórico). Ao longo

dos anos a POLI obteve crescimento gradual e teve como último prédio edificado no na década de 90, sendo o bloco I, e posteriormente em 2004, o bloco K, constituindo, portanto o bloco IK.

Tendo em vista, o bloco A se caracterizar como o edifício mais antigo e o bloco IK se caracterizar como o edifício de construção mais recente, ambos foram selecionados para compor a amostra, por representarem a diferença em relação à diversidade de materiais, técnicas construtivas e características arquitetônicas.

Para tanto, foram realizadas visitas técnicas em ambos os prédios e os projetos executivos foram avaliados. Posteriormente, foi realizado a importação dos projetos, com destino ao software de simulação de dinâmicas de incêndio, *PyroSim*, e para o simulador de abandono da edificação, *Pathfinder*. A Figura 19 aponta os passos seguidos para a realização das simulações na quarta etapa desse estudo.

Figura 19: Fluxograma de metodologia (quarta etapa).



Fonte: A autora.

3.4.1 Simulação da dinâmica de incêndio no bloco A e bloco IK

Após a compreensão do funcionamento da ferramenta de simulação computacional de incêndio (*PyroSim*) a partir do estudo piloto, foram então, inseridos os dados de entrada e efetuados a modelagem em 3 Dimensões.

Cada um dos blocos foi desenvolvido em arquivos diferentes, já que se trata de comparativo entre as simulações. Para tanto, desenvolveu-se cada uma das técnicas metodológicas a partir das dimensões e dos componentes construtivos das edificações estudadas.

3.4.1.1 Técnicas adotadas para simulação fluidodinâmica de incêndio no bloco A

Para a simulação computacional realizada no bloco A da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE), cumpriu-se, portanto, os seguintes parâmetros:

- 1) Visita técnica;
- 2) Importação do projeto do bloco A em DWG para o *PyroSim* (o projeto entra-se de acordo com a edificação);
- 3) Adicionou-se a malha juntamente com os parâmetros adequados para esta edificação.

Para tanto, a malha adicionada obteve as seguintes dimensões: X inicial 0,0m; X final 32,00m (comprimento); Y inicial -03,00m; Y final 13,00m (largura); Z inicial 0,0; Z final 09,00m (altura). E um *Heat Release Rate (HRR)* com o valor de 1110 Kw, com um diâmetro de fogo 1,0 (ou D/dx de 10). Assim como a simulação anterior também foi utilizado o site de configuração de malha para FDS, *Salah Benkorihi para Fire Safety Engineering* (BENKORIH, 2022). A Figura 20 a seguir demonstra os valores inseridos no site a para serem calculados.

Figura 20: Configurações iniciais para calcular a malha do bloco A.

Enter the x, y, z dimensions (meters) and your expected HRR

X_{min} X_{max}
 Y_{min} Y_{max}
 Z_{min} Z_{max}

Heat Release Rate (Q) kW

Density (ρ_∞) kg / m³

Specific Heat (c_p) kJ / kg-K

Ambient Temperature (T_∞) K

Gravity (g) m / s²

To use the old MESH Size Calculator, [click here](#)

Fonte: A autora.

Entre as opções de refinamento de malha *coarse*, *moderate* e *fine*. Foram testados os três tipos de malha. A Tabela 4, a seguir, mostra as dimensões respectivas aos três tipos de malhas, concomitantemente com o IJK (quantitativo de células nas direções x, y e z, respectivamente), o número total de células e o tempo de simulação. Neste último tem-se mais que um dia de simulação com o uso da malha grosseira, e aproximadamente cinco dias para a malha moderada, já na fina o programa apresentou uma mensagem afirmando falta de memória, e, portanto, não rodou a simulação.

Tabela 4: Tipos de malha e suas características.

Tipo de malha	IJK	Total de células	Tempo de simulação
Grosseira	128 / 64 / 36	294.912	33:03:34h
Moderada	320 / 160 / 90	4.608.000	124:48:21h
Fina	512 / 256 / 144	18.874.368	Não rodou

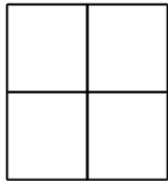
Fonte: A autora.

Entretanto, o que melhor aplicou-se para este caso foi o *coarse*, já que, as outras opções resultaram em milhões de células, o que gerou dificuldade para o notebook utilizado rodar as simulações. A Figura 21 demonstra a *mesh* escolhida, o tamanho de célula sugerido a partir do resultado do cálculo efetuado pelo site e o IJK.

Figura 21: *Mesh coarse* para o bloco A.

The characteristic fire diameter D^* is 1.0

Coarse



When $D^*/dx = 4$: the suggested coarse cell size is 25.0 cm

Your MESH line for FDS is:

&MESH IJK=128,64,36, XB=0,32,-3,13,0,9 /

You entered:
 X_{min} : 0 X_{max} : 32
 Y_{min} : -3 Y_{max} : 13
 Z_{min} : 0 Z_{max} : 9
 dx : 0.25

Fonte: A autora.

Isto posto, os resultados trouxeram a dimensão das células de 0,25 x 0,25 x 0,25. Sendo um total em cada direção os valores: X de 120, Y de 48 e Z de 30, com o total de 294.212 células.

- 4) Realizou-se a Modelagem tridimensional e inseridos os mobiliários;
- 5) A configuração dos materiais e das superfícies foi adicionada;
- 6) Inseriu-se os *Vents* e *Holes*;
- 7) Neste passo, calculou de o *fireramp* a partir da ferramenta de fogo calculadora de rampa de incêndio, e inseriu-se valor de 1110 kw (tal como o da malha); e coeficiente de crescimento de fogo como rápido; e queimador de 1,0m x 1,0m (Figura 22).

Figura 22: Cálculo de curva de incêndio bloco A.

Select Input Parameters

Fire Growth Coefficient

☐ Slow: 0.00293 kW/s² ☐ Medium: 0.01172 kW/s²
☒ Fast: 0.0469 kW/s² ☐ Ultrafast: 0.1876 kW/s² ☐ Other:

Custom: kW/S²

Fire Parameters

Select when the t-squared fire ramp should stop:

☒ Maximum HRR: _____ kW ☐ Maximum Time: _____ S

1110

Additional Output Parameters (optional)

Select additional outputs:

☐ Downloadable CSV file ☒ FDS HRR Ramp Text

FDS HRR Vent Size:

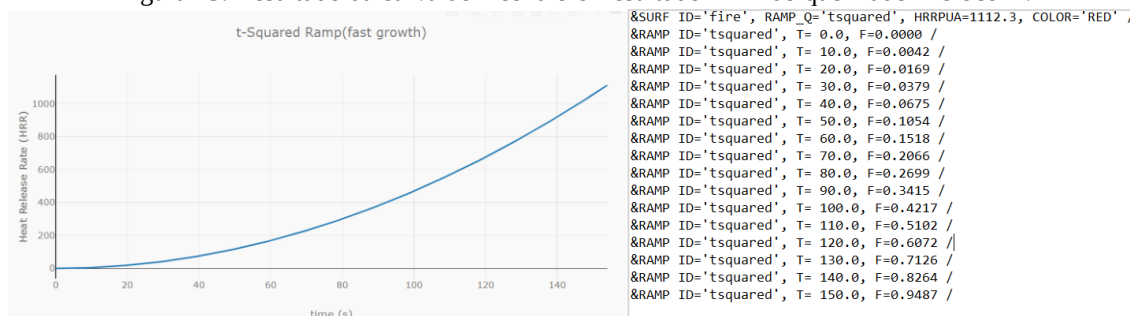
1 X 1

CALCULATE T-SQUARED FIRE RAMP

Fonte: A autora.

Os cálculos apontaram um HRRPUA de 1112.3kW/m² e curva de incêndio com t² em 150s, tal como podemos visualizar nas imagens a seguir (Figura 23).

Figura 23: Resultado da curva de incêndio e Resultado HRR do queimador - bloco A.



Fonte: A autora.

- 8) E então posto à reação de queima PROPYLENE;
- 9) Os termopares foram adicionados em todas as portas à 1,80m do piso;
- 10) Adição das *Slices* 2D sendo duas de temperatura e duas de visibilidade;
- 11) Ajustou-se os parâmetros para 1800s, o que simularia, portanto, um incêndio de 30 min.;
- 12) Simulação iniciada;
- 13) Os resultados são demonstrados no Smokeview;
- 14) Os dados os quais apresentam os resultados da taxa de liberação de calor, tipos de liberação de calor e as temperaturas alcançadas são gerados em planilha do programa Excel. E, a partir disso os dados foram organizados em colunas e os gráficos descritivos foram realizados.

3.4.1.2 Simulação de Evacuação do bloco A

Sabendo que, a modelagem em 3D do *PyroSim* é possível ser inserida no *Pathfinder* assim foi efetuado. Posteriormente, foram aplicados os seguintes parâmetros no software de simulação de abandono:

- 1) Os ambientes selecionados e nomeados;
- 2) As aberturas e saída geral indicada, assim o programa direcionará os usuários para a saída;
- 3) Inserção de 170 indivíduos, baseado no quantitativo de cadeiras disponíveis, o que mostra o quantitativo da capacidade de pessoas que o ambiente comporta;

- 4) Configuração dos perfis dos indivíduos e;
- 5) Realização da simulação
- 6) Captação dos dados.

3.4.1.3 Simulação da dinâmica de incêndio no bloco IK

Na simulação de incêndio efetuada no bloco IK da POLI/UPE, seguiu os parâmetros apresentados abaixo:

- 1) Visita técnica;
- 2) Importação do projeto do bloco IK em formato DWG para o *PyroSim* (o bloco encontra-se em de acordo com o projeto);
- 3) Malha adicionada com as seguintes configurações:
X inicial 0,0m; X final 65,50m (comprimento); Y inicial 4,0m; Y final 18,00m (largura); Z inicial 0,0; Z final 16,00m (altura), e Heat Release Rate (HRR) com o valor de 1110 kW (Figura 24).

Figura 24: Configurações iniciais para calcular a malha do bloco IK.

The image shows a web-based form titled "Enter the x, y, z dimensions (meters) and your expected HRR". It contains several input fields with values entered:

- X_{min} : 0, X_{max} : 65.5
- Y_{min} : 4, Y_{max} : 18
- Z_{min} : 0, Z_{max} : 16
- Heat Release Rate (Q): 1110 kW
- Density (ρ_∞): 1.204 kg / m³
- Specific Heat (c_p): 1.005 kJ / kg-K
- Ambient Temperature (T_∞): 293 K
- Gravity (g): 9.81 m / s²

Below the fields is a button labeled "Calculate suggested cell sizes »". At the bottom, there is a link: "To use the old MESH Size Calculator, [click here](#)".

Fonte: A autora.

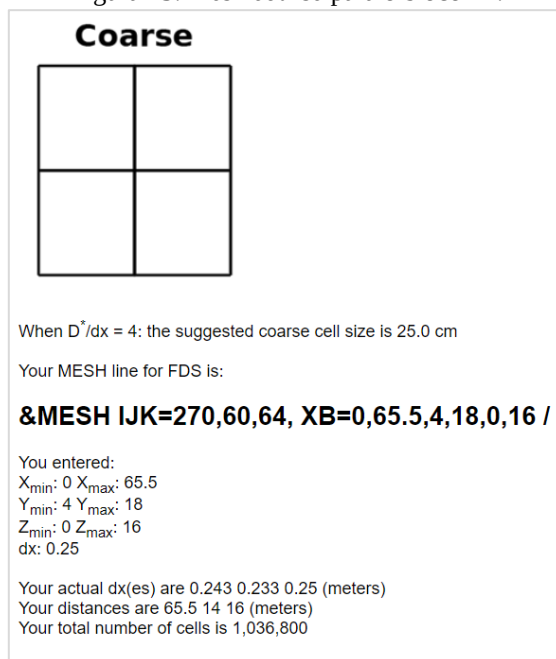
A Tabela 5 mostra as características de cada tipo de malha de acordo com as informações inseridas no site. Neste caso devido ao alto número de células já na malha moderada, o *PyroSim* a mostrou a mensagem “falta de memória” e não realizou a simulação (computador utilizado para realizar as simulações tem as seguintes configurações: notebook dell *inspiron* 15 série 7000, processador 8ª geração *IntelCore* i7, memória de 8GB, SSD de 480GB, placa de vídeo NVIDIA GeForce 2GB).

Tabela 5: Tipos de malha e suas características.

Tipo de malha	IJK	Total de células	Tempo de simulação
Grosseira	270 / 60 / 64	1.036.800	68:12:45 h
Moderada	675 / 144 / 160	15.552.000	Não rodou
Fina	1080 / 225 / 256	62.208.000	Não rodou

Fonte: A autora.

E, assim como a simulação anterior, o refinamento da malha escolhido foi o grosseiro, os resultados dos cálculos constam um IJK de 270, 60, 64 e o total de células de 1.036.800. A Figura 25 apresentada às informações descritas neste parágrafo.

Figura 25: *Mesh coarse* para o bloco IK.

Fonte: A autora.

- 4) Modelagem tridimensional e obstruções;
- 5) Materiais e superfícies configurados;
- 6) Inseriu-se as ventilações e aberturas;
- 7) Foi calculado a curva de incêndio com HRR de 1110kw, como presente na malha; e coeficiente de crescimento de fogo como rápido; e queimador de 1,0m x 1,0m como apontado na Figura 26.

Figura 26: Cálculo de curva de incêndio bloco IK.

The University of Texas at Austin
Mechanical Engineering
Cockrell School of Engineering

Select Input Parameters

Fire Growth Coefficient

☐ Slow: 0.00293 kW/s²
☐ Medium: 0.01172 kW/s²
☒ Fast: 0.0469 kW/s²
☐ Ultrafast: 0.1876 kW/s²
☐ Other:

Custom: kW/s²

Fire Parameters

Select when the t-squared fire ramp should stop:

☒ Maximum HRR: 1110 kW
 ☐ Maximum Time: S

Additional Output Parameters (optional)

Select additional outputs:

☐ Downloadable CSV file
 ☒ FDS HRR Ramp Text

FDS HRR Vent Size:

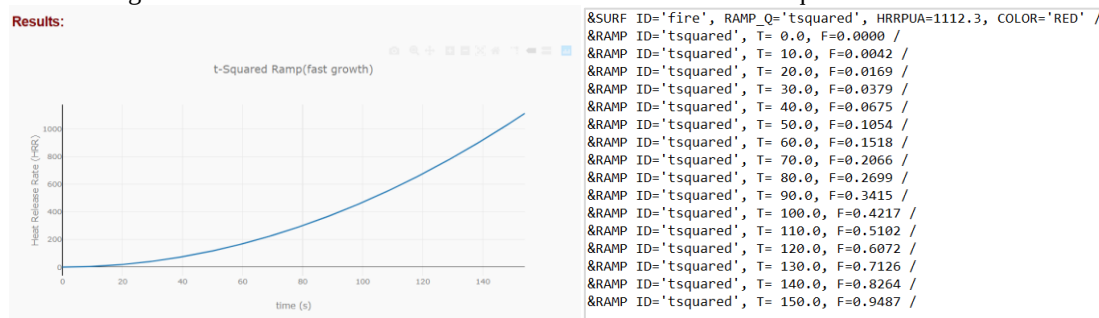
1 X 1

CALCULATE T-SQUARED FIRE RAMP

Fonte: A autora.

Os cálculos apontaram um HRRPUA de 1112,3kW/m²e rampup time com t² em 300s, como é possível visualizar nas Figura 27.

Figura 27: Resultado da curva de incêndio e Resultado HRR do queimador bloco IK.



Fonte: A autora.

- 9) Reação de queima PROPYLENE;
- 10) Termopares à 1,40m locados nos acessos principais e escadas;
- 11) Slices 2D sendo duas de temperatura e duas de visibilidade, assim como na simulação anterior;
- 12) Ajuste nos parâmetros de simulação para 30min (1800s.);
- 13) Simulação iniciada e;
- 14) Resultados apresentados através do Smokeview;

- 15) Os dados os quais apresentam os resultados do HRR, da condução, convecção e radiação emitidas gerados em planilha. E, a partir disso os dados foram tratados e os gráficos descritivos foram feitos.

3.4.1.4 Simulação de Evacuação do bloco IK

Para a simulação de abandono realizada no software *Pathfinder* foram aplicados os seguintes métodos:

- 1) Seleção e nomeação dos ambientes;
- 2) Indicação dos acessos;
- 3) Inserção dos 800 indivíduos no prédio (baseado na capacidade de pessoas que o edifício comporta);
- 4) Configuração dos perfis;
- 5) Simulação efetuada;
- 6) Os dados foram capturados. Neste, os diagramas são gerados automaticamente ao final da simulação.

3.5 Elaboração de diretrizes para projeto de SCI

O estabelecimento das diretrizes teve como base, além da análise das legislações vigentes, a testagem em edifícios institucionais de características diferentes e a indicação de ações (efetuada a partir identificação das necessidades), que devem ser tomadas em casos de sinistros para as edificações analisadas.

A indicação das necessidades projetuais com a indicação de ações foi efetuada a partir do estudo das legislações e normativas (prescrição) e com as simulações de desempenho realizadas a partir de programas computacionais têm como objetivo descrever nas necessidades da inserção dos equipamentos e detecção e combate ao fogo, bem como os dimensionamentos adequados dos acessos e sinalização e iluminação das saídas para o processo de evacuação das pessoas presentes na edificação, tendo como objeto de estudo duas edificações de uso educacional de características diferentes.

Para tanto foi elaborado uma planilha listando os softwares utilizados, Tipologia da edificação, Classificação de uso da ocupação, Características da edificação, Detectores

de fumaça, Sistema de extinção do fogo - Extintores de incêndio, Sistema de extinção do fogo - Hidrantes e mangotinhos, Sistema de extinção do fogo - Chuveiro automático (Sprinklers), Sistema de iluminação de emergência, Sinalização de segurança contra incêndio e pânico, Sistema de iluminação de emergência, Sinalização de segurança contra incêndio e pânico, Saída de emergência. Ao lado das descrições das ações de SCI que devem ser tomadas tem-se o tópico da legislação, norma ou código que fundamenta o item, e por fim, as observações a respeito da tomada de decisão. A Tabela 6, a seguir exemplifica a estrutura da planilha elaborada.

Tabela 6: Ações baseadas em desempenho e prescrição.

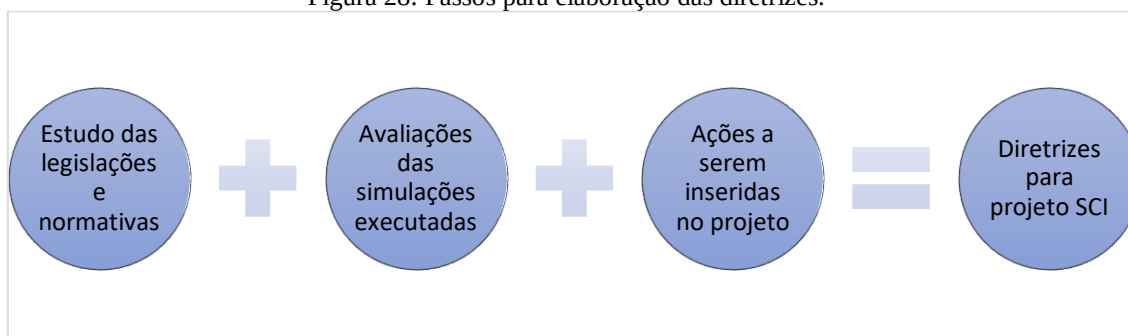
AÇÕES BASEADAS EM DESEMPENHO E PRESCRIÇÃO			
Item	Informações/ Ações (Baseado em desempenho e prescrição)	Legislação/ norma/ código (Prescritivo)	Observações
Softwares utilizados			
Tipologia da edificação			
Classificação de uso da ocupação			
Caraterísticas da edificação			
Sistema de detecção			

Sistema de extinção do fogo - Extintores de incêndio			
Sistema de extinção do fogo - Hidrantes e mangotinhos			
Sistema de extinção do fogo - Chuveiro automáticos (Sprinklers)			

Sistema de iluminação de emergência			
Sinalização de segurança contra incêndio e pânico			
Saídas de emergência			

Desta forma, com o conjunto das informações adquiridas, resultou-se por fim, na elaboração de diretrizes projetuais para projeto de Segurança Contra Incêndios que possam auxiliar o profissional responsável pela elaboração do projeto em SCI, em edificações educacionais de ensino superior, podendo ser aplicado tanto das edificações localizadas nos campus já existentes da UPE, como em futuras construções. É possível visualizar os caminhos percorridos ao longo desta pesquisa, resultando nas diretrizes para projeto de SCI, na Figura 28.

Figura 28: Passos para elaboração das diretrizes.



Fonte: A autora.

4 RESULTADOS

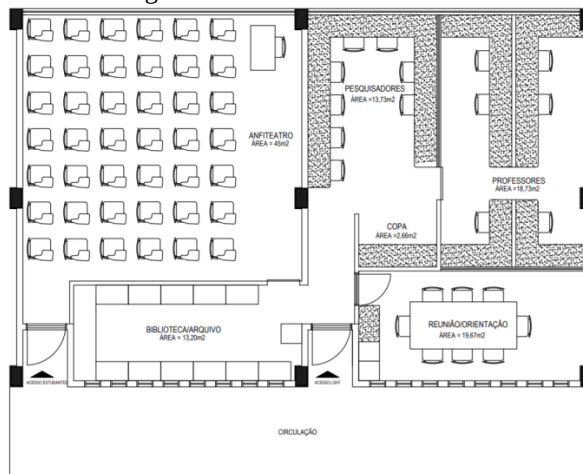
No presente capítulo são abordados os resultados, referindo-se primeiramente ao estudo piloto, em que foram realizadas simulações nos programas computacionais *PyroSim* e *Pathfinder*, tendo o Laboratório de Segurança e Higiene do Trabalho (LSHT) como objeto de estudo. E, posteriormente, serão demonstrados os resultados relacionados à simulação nos softwares de verificação de desempenho de edificação em caso de sinistros nos blocos A (construção pertencente ao campus desde a sua fundação em 1912) e o bloco IK (último prédio edificado do conjunto de blocos pertencentes ao campus, sendo estes localizados na Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE)).

Com os resultados das simulações, e com análise das normativas, já efetuada, tornou-se possível indicar ações que podem ser implantadas na concepção do projeto de Segurança Contra Incêndios no bloco A e bloco IK. Com base neste conjunto de informações foram elaboradas diretrizes projetuais para auxiliar o profissional responsável pelo desenvolvimento do projeto de edificações de uso institucional de ensino superior.

4.1 Resultados do Estudo Piloto

O Laboratório de Segurança e Higiene do Trabalho (LSHT) está localizado no campus da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE). A planta baixa pode ser identificada na Figura 29.

Figura 29: Planta baixa do LSHT.



Fonte: LSHT (2018), adaptado pela autora.

O LSHT é formado por uma equipe de docentes da POLI/UPE, assim como professores de outras instituições de ensino (especialistas, mestres e doutores). Nele são desenvolvidos atividades de ensino (graduação e pós-graduação), pesquisa (iniciação científica) e extensão voltadas à segurança e saúde ocupacional com o propósito de prevenir acidentes e resguardar o bem-estar do trabalhador. O Laboratório é composto pelos seguintes ambientes: hall de entrada, sala de reunião/orientação, biblioteca, anfiteatro, sala dos alunos pesquisadores e sala dos professores, como pode ser verificado na Figura 30 a seguir.

Figura 30: Ambientes do LSHT.



Fonte: A autora.

A Tabela 7 localizada apresenta a área correspondente a cada ambiente.

Tabela 7: Ambientes LSHT e área (m²).

Ambiente	Área (m²)
Professores	18,73m ²
Pesquisadores	13,73m ²
Copa	2,66m ²
Reunião/orientação	19,87m ²
Anfiteatro	45m ²
Biblioteca	13,20m ²

Fonte: LSHT (2018), adaptado pela autora.

4.1.1 Simulação no PyroSim no LSHT

Com o conhecimento dos ambientes e o estudo da planta baixa do local, o projeto que antes estava em formato DWG (Figura 26), foi importado para o software *PyroSim*. Posteriormente, realizou-se sua alteração de 2 Dimensões para 3 Dimensões, com a adição das paredes, aberturas (portas e janelas) e do mobiliário. As paredes são modeladas a partir do comando *Obstruction (OBST)*; as portas e janelas pelo comando *HOLE*.

Então, já acrescentado aos objetos em 3D, foram incorporados no desenho os materiais os quais possuem. Assim, o programa compreende as especificidades de cada um dos materiais, o que torna imprescindível para determinar os elementos combustíveis, tempo de queima e a temperatura. A Figura 31 ilustra o projeto do LSHT, no *PyroSim*, em vista superior.

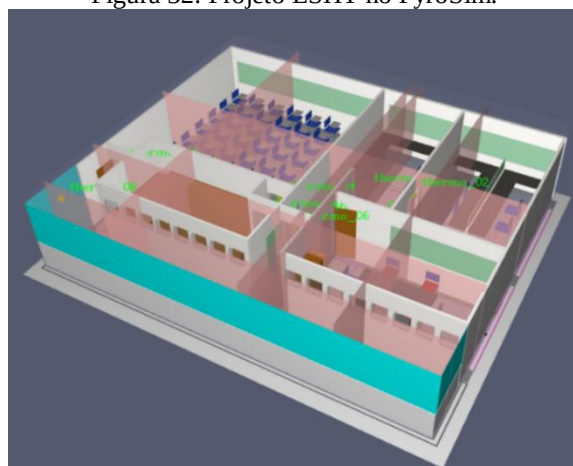
Figura 31: Projeto LSHT no PyroSim, vista superior.



Fonte: A autora.

Ainda com relação às aberturas, foram inseridas acima do peitoril do corredor, bem como na entrada de acesso ao trecho do corredor, o comando de ventilação aberta, isto é para que o *software* compreenda que no corredor existe uma abertura que proporciona a entrada e saída de ar. Para tanto, foi aplicado o comando *VENT* e a superfície identificada como *OPEN*. A cor azul acima do peitoril são os *Vents* citados antes da simulação (Figura 32). Esta, quando finalizada e apresentada no *Smokeyview*, torna-se invisível.

Figura 32: Projeto LSHT no PyroSim.



Fonte: A autora.

Nesse contexto, adicionou-se também, o queimador (reconhecido no programa como *Vent flame* e nomeado em sua descrição como *burner vent*), o qual foi inserido em sua superfície a Taxa de Liberação de Calor por unidade de Área (*Heat Release Rate Per Unit Area* – HRRPUA) de 1112,3 kW/m².

Os incêndios em edificações comumente iniciam-se a partir de um curto-circuito em um equipamento elétrico. Assim sendo, o local escolhido para a simulação das dinâmicas de incêndio comporta estabilizadores de computadores, o que simularia um caso de curto-circuito em um desses equipamentos. Tal queimador, por sua vez, pode ser identificado na Figura 33, com um quadrado vermelho localizado na sala dos pesquisadores. Para facilitar a visualização da sua localização, tem-se na Figura em 3D, situada a seguir, um círculo na cor vermelha.

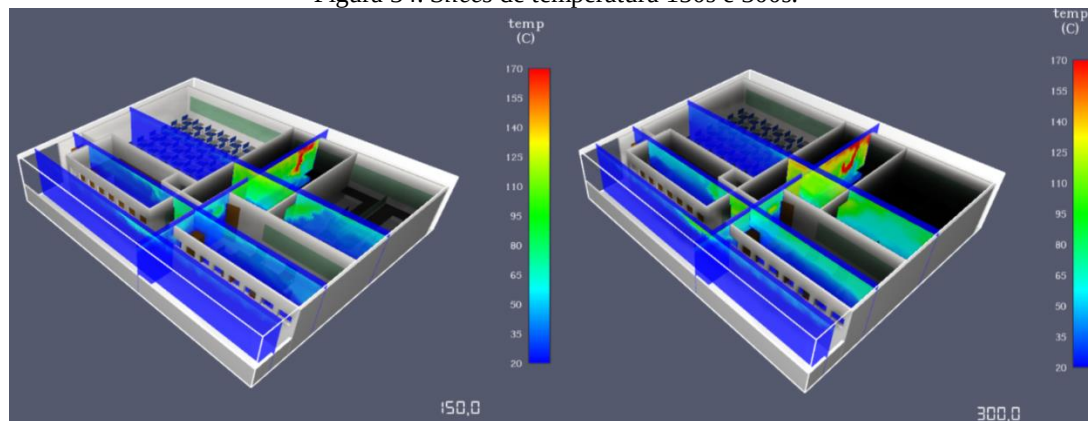
Figura 33: Projeto LSHT no *PyroSim*.



Fonte: A autora.

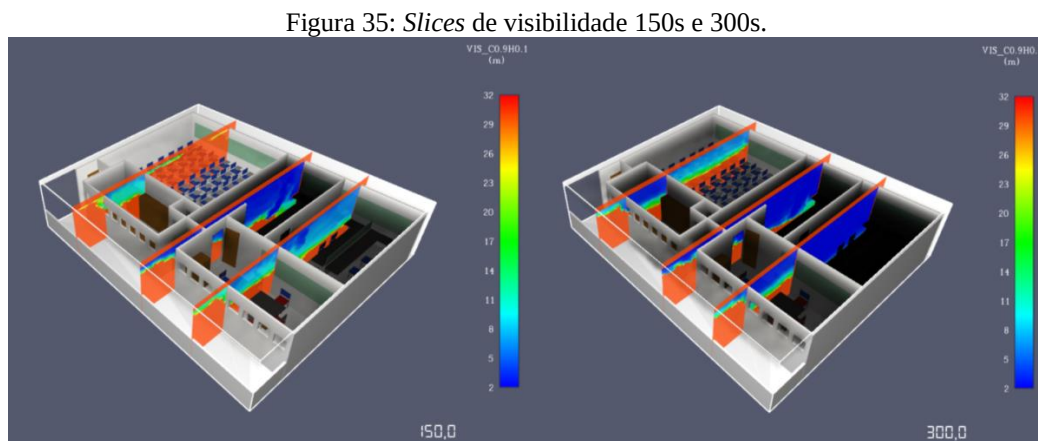
Os resultados da simulação de acordo com os *Slices*, sendo estes, três em X e um em Y, apontaram que a temperatura na sala em que se deu o início de incêndio, temperatura esta que alcançou 170°C. A Figura 34 mostra a simulação em 150 segundos e em 300 segundos. A barra ao lado aponta os graus de temperatura de acordo com as cores apresentadas.

Figura 34: *Slices* de temperatura 150s e 300s.



Fonte: A autora.

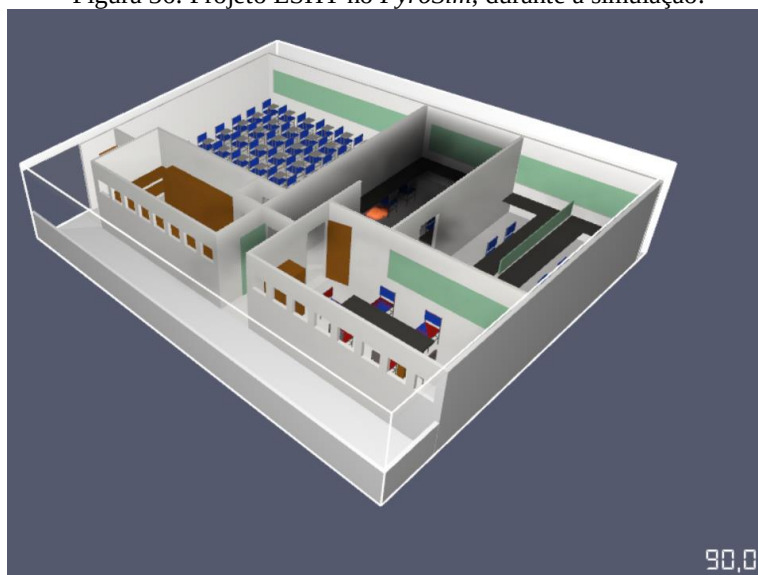
Ao contrário dos *Slices* de temperatura, os *slices* de visibilidade apresentam na cor azul, o maior índice de fabricação de fuligem, e na cor vermelha, o menor índice de fuligem. A Figura 35 também mostra registro da simulação em 150 segundos e em 300 segundos.



Fonte: A autora.

Ao que diz respeito ao fogo e a fumaça, nota-se que o incêndio é iniciado e a fumaça toma o ambiente onde o queimador se localiza (sala dos pesquisadores), estendendo-se para a copa e começa a invadir a sala dos professores, em 90 segundos, como é perceptível na Figura 36.

Figura 36: Projeto LSHT no *PyroSim*, durante a simulação.



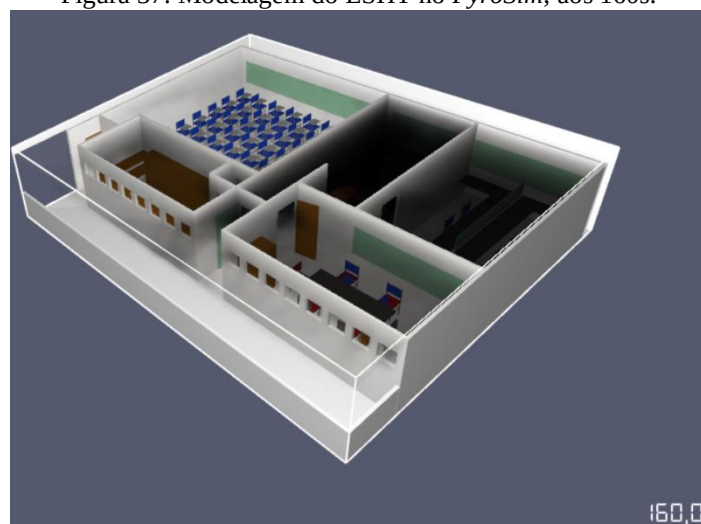
Fonte: A autora.

No local onde o fogo é iniciado, percebe-se o aumento da temperatura próxima ao teto, isso se dá pelo fato de as moléculas de ar frio possuem maior densidade em relação às

partículas de ar quente. Logo, a maior temperatura está localizada próxima ao forro da edificação.

Já nos 160 segundos de simulação, além da sala dos pesquisadores onde se deu o início do incêndio, é perceptível que o fumo tomou a sala dos professores, juntamente com a sala de reuniões e a biblioteca, começando a invadir a sala de aula (anfiteatro). Essas informações são ilustradas na Figura 37.

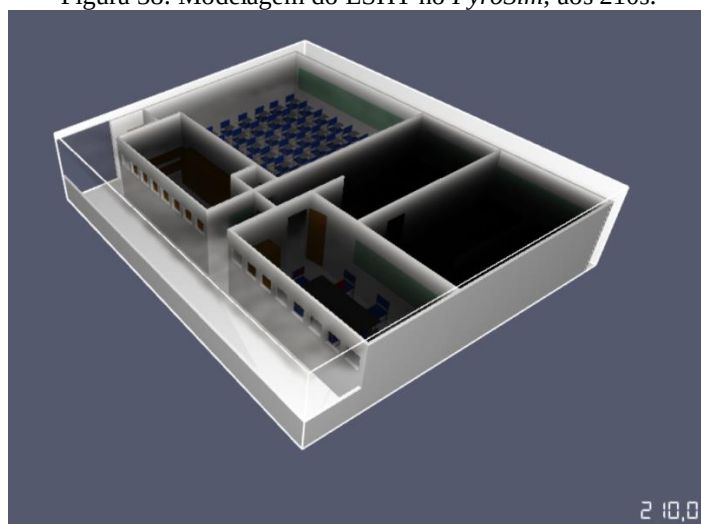
Figura 37: Modelagem do LSHT no *PyroSim*, aos 160s.



Fonte: A autora.

Em 240 segundos de simulação foi perceptível o aumento da densidade do fumo, e consequentemente, a elevação da produção das substâncias tóxicas e inflamáveis contidas na fumaça (Figura 38).

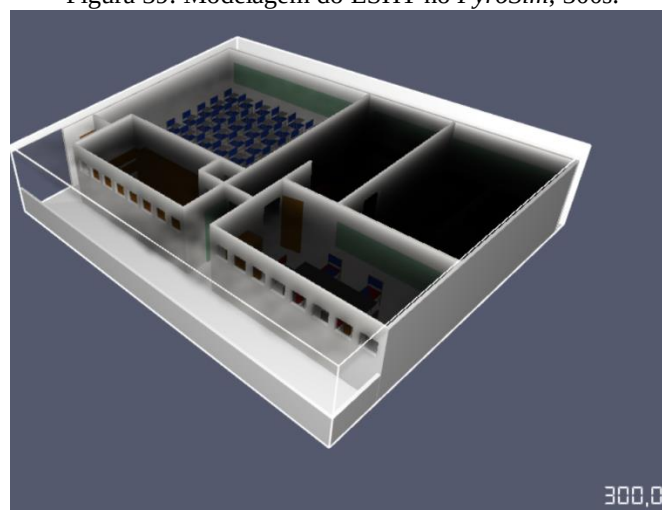
Figura 38: Modelagem do LSHT no *PyroSim*, aos 210s.



Fonte: A autora.

Para tanto, a disseminação completa da fumaça pelos ambientes do laboratório acontece aos 300 segundos de simulação (Figura 39), isto é, em 5 minutos, os ambientes estudados já estariam tomados pelo fumo em um caso de incêndio. Contudo, a pirólise não acontece dentro deste período, pois a baixa carga de incêndio nos ambientes tem como temperatura máxima da fumaça 120°C, sendo suficiente, para levar uma pessoa a óbito (CAJATY, 2021).

Figura 39: Modelagem do LSHT no *PyroSim*, 300s.



Fonte: A autora.

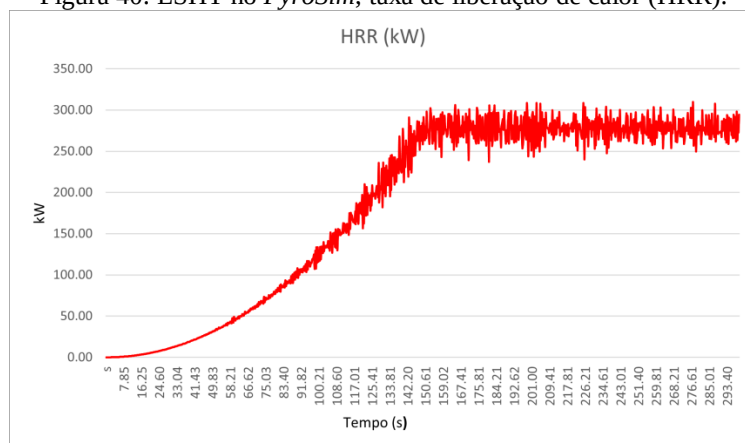
Ressalta-se que acerca da verificação dos resultados ilustrativos aqui simulados, são apresentadas nos APÊNDICES outras imagens referentes simulação efetuada no *software PyroSim* (com vista em planta baixa, e, em vez de formato sólido, está em formato linhas).

4.1.1.1 Taxa de Liberação de Calor

Além de demonstrar a simulação de maneira ilustrativa, o *software PyroSim* garante a formulação de gráficos estatísticos a partir dos dados fornecidos. Com isso, a Figura 56 explana a identificação dos resultados a partir do diagrama de liberação de calor, conhecida pela sigla TLC, ou pelo termo em inglês *Heat Release Rate*. É essa quantidade de calor liberada durante um incêndio que define a dimensão do sinistro, tendo sua grandeza em combustão demonstrada em HRR.

O HRR expressa a oscilação da taxa de liberação de calor em relação ao tempo determinado para a simulação, neste caso 300 segundos, o qual teve como variação entre 250 e 300 kW, tal como pode ser visto na Figura 40.

Figura 40: LSHT no *PyroSim*, taxa de liberação de calor (HRR).



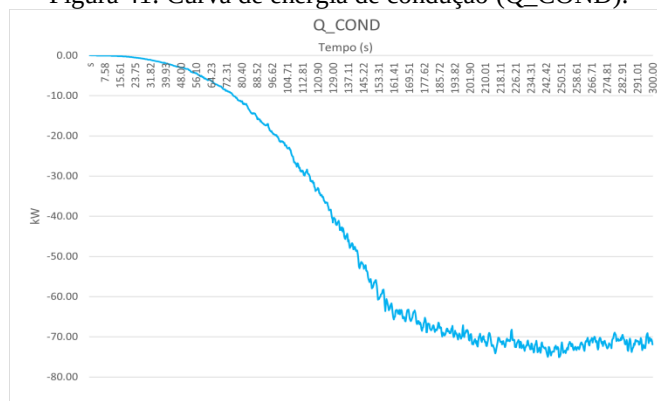
Fonte: A autora.

4.1.1.2 Condução, convecção e radiação

Conforme relatado no referencial teórico da presente pesquisa, os meios de propagação do fogo acontecem através dos três tipos de transferências de calor, aqui já pontuados, mas cabe a menção: condução, convecção e radiação, respectivamente.

Na primeira, tem-se o deslocamento das partículas por meio do fluxo de calor entre dois corpos que possuem temperaturas diferentes, havendo, assim a troca entre as superfícies. No caso da simulação no LSHT, a este tipo transferência de calor, é transpassada para os materiais que possuem contato com a fonte de calor. Neste cenário, verificou-se que o contato direto da chama com o piso, parede, bancada de mármore e a cadeira, que estão próximos ao queimador, provoca o aumento de temperatura decorrente da condução. Os resultados da potência da transferência (kW) em relação ao tempo de simulação (300s) foi de 70 kW, sendo apresentado na Figura 41.

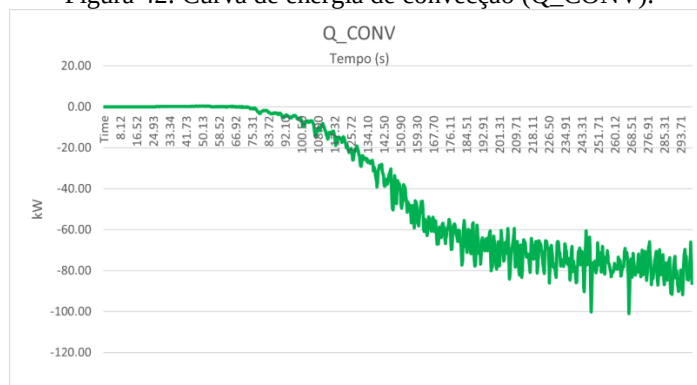
Figura 41: Curva de energia de condução (Q_COND).



Fonte: A autora.

Já a convecção se dá pela transferência através de um fluido calor sendo por meio de gases ou líquidos, por exemplo. Assim sendo, os resultados da simulação apontam o calor transferido por meio da fumaça produzida. Esta, portanto, carrega uma alta taxa de calor, levando para os outros ambientes. O gráfico a seguir (Figura 42) exibe os resultados da convecção com a energia emitida de 60 a 115 kW nos 300 segundos de simulação.

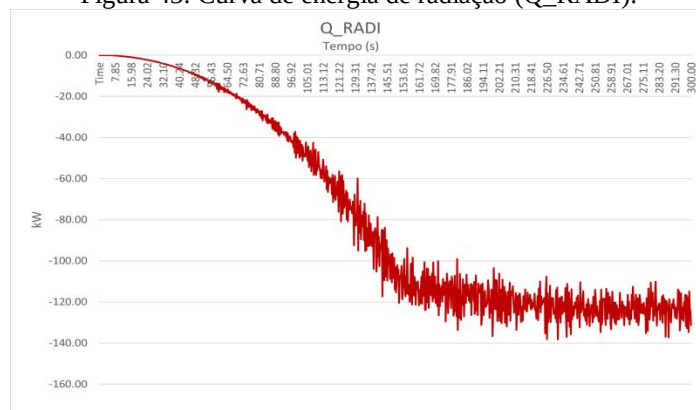
Figura 42: Curva de energia de convecção (Q_CONV).



Fonte: A autora.

No caso da radiação, a energia térmica é transmitida por ondas magnéticas, possibilitando sua transferência no vácuo. Ou seja, a fonte de calor localizada na sala dos pesquisadores irradia para os demais ambientes. A Figura 43 expõe os resultados deste tipo de transferência de calor obtendo o valor de 100 a 140 kW, em 300s de simulação.

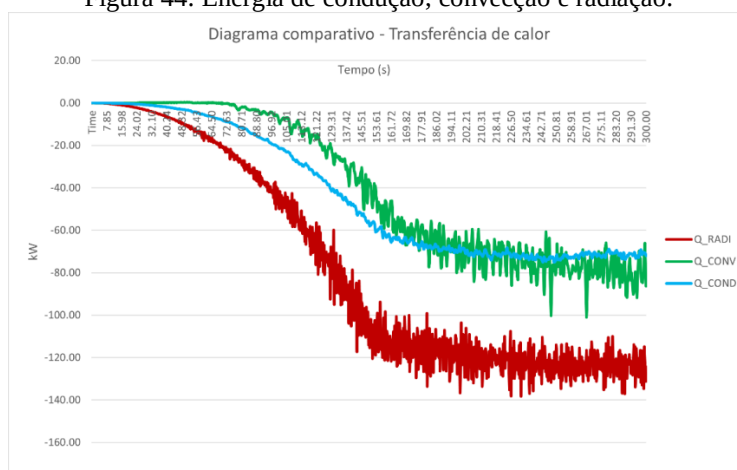
Figura 43: Curva de energia de radiação (Q_{RADI}).



Fonte: A autora.

Na Figura 44 são apontados os três tipos de transferências de calor citados. Logo, é possível identificar que a radiação obteve o maior índice de transmissão de calor em relação à condução e à convecção.

Figura 44: Energia de condução, convecção e radiação.



Fonte: A autora.

De acordo com a Figura 44, os valores em formato negativo apresentados nos gráficos de transferência de calor significam que a transmissão energética acontece quando o calor liberado é absorvido, decorrente portanto, da agitação dos átomos e moléculas de alta temperatura propagando-se para os átomos e moléculas de menor temperatura.

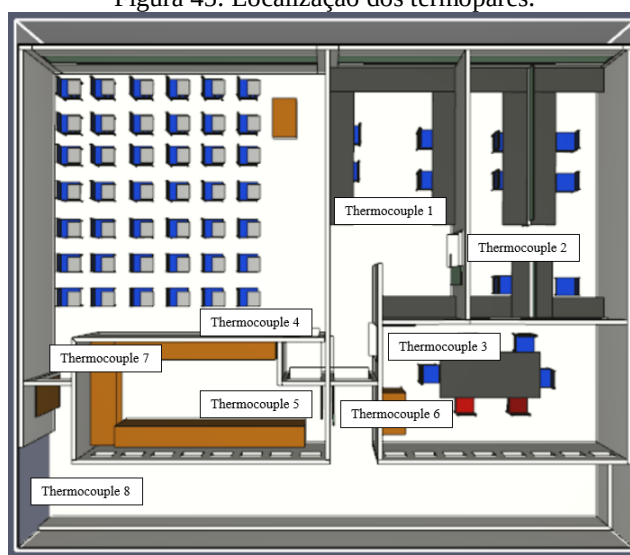
A partir da análise dos gráficos apresentados anteriormente, tendo como eixo X o tempo de simulação estipulado, neste caso 300s, e o eixo Y, o valor relativo à transferência em quilowatts, faz ser possível perceber que a maior oscilação na curva dos diagramas

acontece durante a radiação, onde é gerado o maior índice de energia térmica com o valor referente à transferência de calor de 140 kW.

4.1.1.3 Temperatura dos ambientes

Como relatado, foram inseridos termopares nas aberturas de acesso, sendo estas: portas da sala dos professores, sala de reuniões, biblioteca, hall de entrada para o LSHT, anfiteatro e no início do corredor, a 2,00m do piso, e um próximo ao Vent flame a 0,40m do piso, totalizando 8 pares termoelétricos (Figura 45).

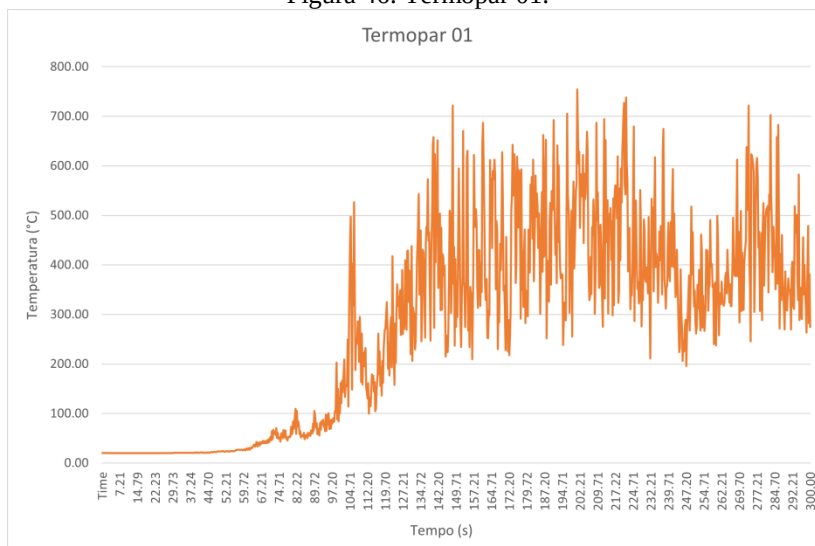
Figura 45: Localização dos termopares.



Fonte: A autora.

O resultado do termopar locado na sala dos pesquisadores próximos ao queimador indicou a oscilação de temperatura no ambiente, atingindo aos 754,64°C em 201,31s. Essas informações podem ser verificadas no gráfico da Figura 46.

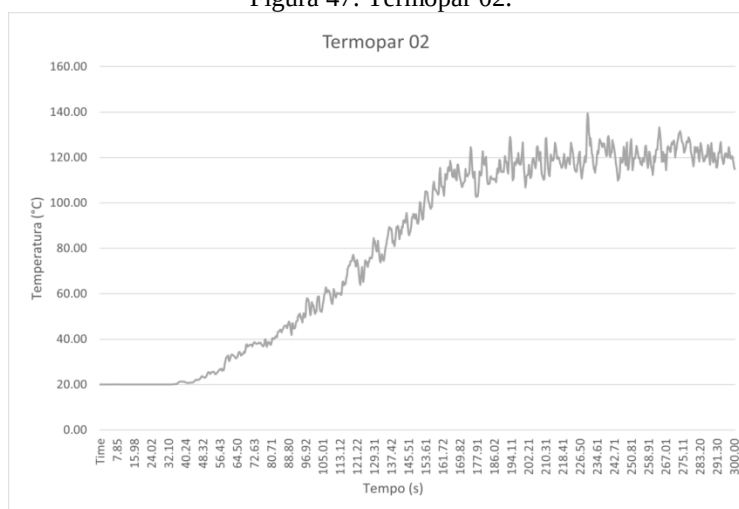
Figura 46: Termopar 01.



Fonte: A autora.

O termopar 2 estava localizado na porta de acesso a sala dos professores detectou o aumento de temperatura aos 7,51s de simulação. A partir disso, a temperatura foi crescendo, atingindo um pico de 131,56°C em 274,20 segundos de simulação (Figura 47).

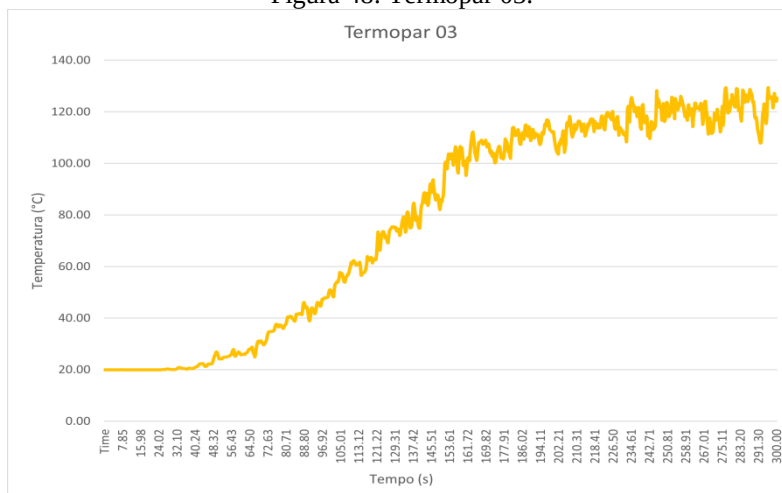
Figura 47: Termopar 02.



Fonte: A autora.

O termopar 03, foi situado no acesso a sala de reuniões, demonstra uma variação de temperatura entre 90° a 129°C a partir dos 146,11 segundos. E continua a oscilar até o término da simulação aos 300 segundos (Figura 48).

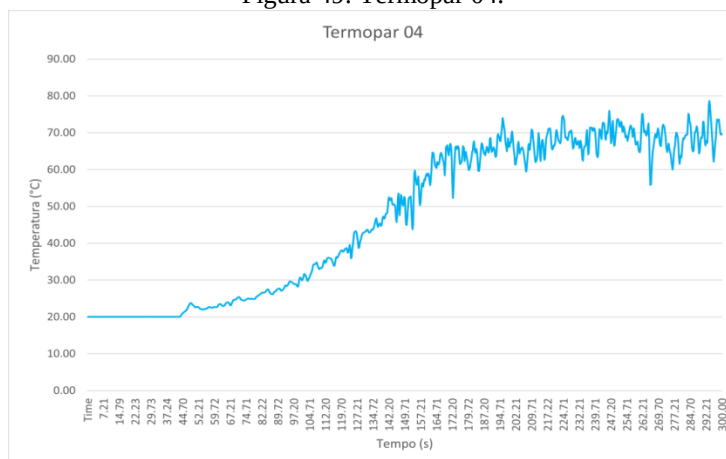
Figura 48: Termopar 03.



Fonte: A autora.

O termopar 04, estava localizado na porta de acesso ao anfiteatro, para quem se encontra dentro do LSHT. Neste local, o sensor detectou a oscilação entre as seguintes temperaturas, 60,92°C a 73,63°C a partir dos 162,62s (Figura 49).

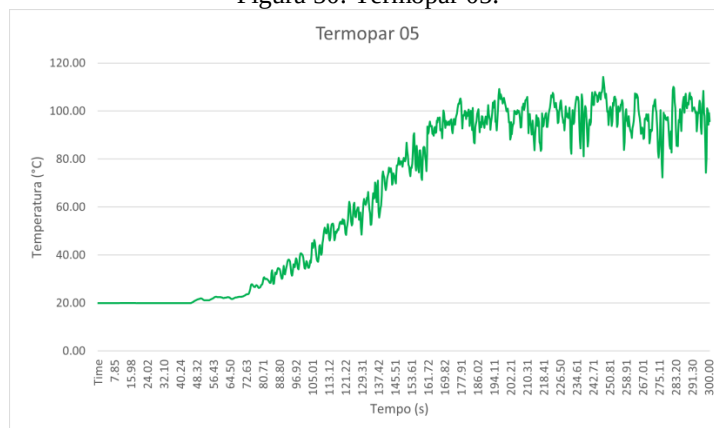
Figura 49: Termopar 04.



Fonte: A autora.

O termopar 5 encontrava-se na entrada da biblioteca. Este, por sua vez, detectou a maior temperatura no local de 108,40°C aos 297,02 segundos de simulação, como pode ser visualizado na Figura 50.

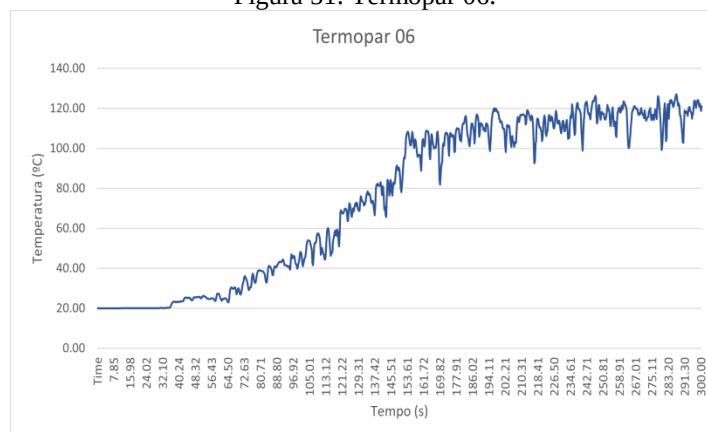
Figura 50: Termopar 05.



Fonte: A autora.

O termopar 6, foi localizado no acesso principal do LSHT, houve um pico de temperatura aos 284,50 segundos, com 123°C, tal como pode ser verificado na Figura 51.

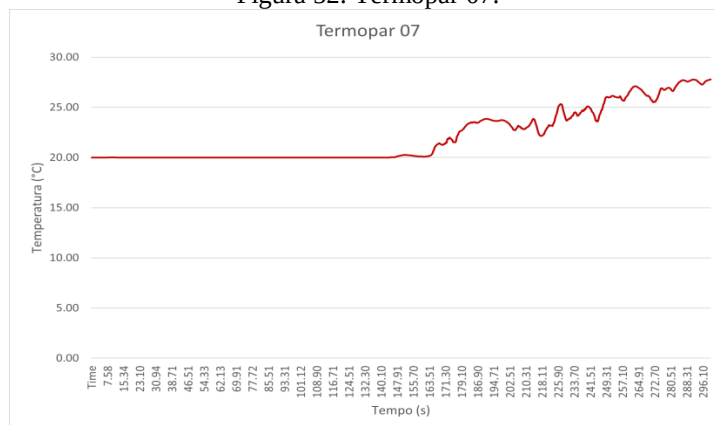
Figura 51: Termopar 06.



Fonte: A autora.

O termopar 07 estava posicionado na porta de acesso do corredor para o anfiteatro. Neste, a maior temperatura encontrada foi de 27,78°C aos 300 segundos de simulação (Figura 52).

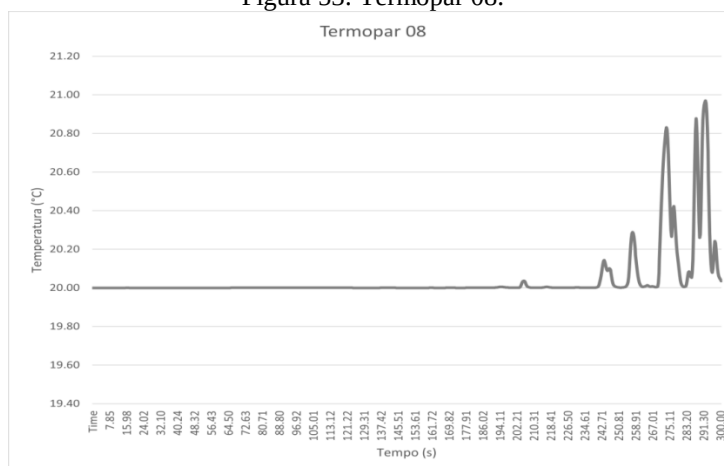
Figura 52: Termopar 07.



Fonte: A autora.

O último sensor, termopar 08, está situado no corredor, externo ao LSHT. Neste, pode ser detectado uma baixa variação de temperatura, oscilando dos 20°C até 20,82°C, como pode ser verificado na Figura 53.

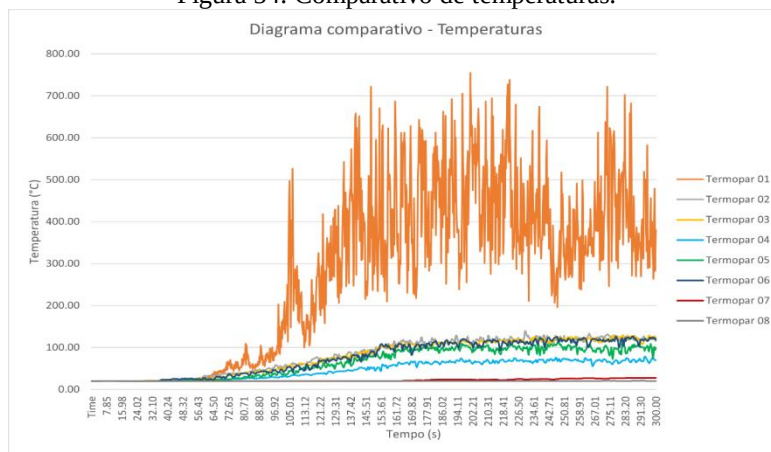
Figura 53: Termopar 08.



Fonte: A autora.

Logo, de acordo com os dados e digramas com as informações de temperatura, percebe-se que o ambiente com alta concentração de temperatura é a sala dos pesquisadores, local onde na simulação se deu o princípio do incêndio. A Figura 54 ilustra graficamente as temperaturas em todos os ambientes citados.

Figura 54: Comparativo de temperaturas.



Fonte: A autora.

4.1.2 Simulação Pathfinder

Para a simulação de abandono, foi importado o modelo 3D realizado no *PyroSim*, no software *Pathfinder*. Para tanto, estimou-se que no momento da evacuação, o LSHT comportava quarenta ocupantes, sendo este o quantitativo a média de pessoas em funcionamento normal. A Figura 55 demonstra a distribuição dos indivíduos nos ambientes.

Figura 55: Modelagem LSHT no Pathfinder, início da simulação.



Fonte: A autora.

Tal distribuição dos modelos, que simulam os indivíduos, representou o uso do LSHT em sua capacidade máxima. A Figura 56 ilustra a saída de pessoas, caracterizada como o abandono dos ambientes.

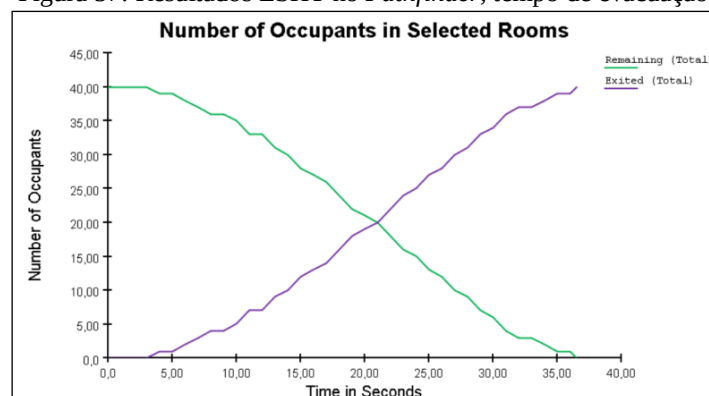
Figura 56: Modelagem do LSHT no *Pathfinder*, durante as simulação.



Fonte: A autora.

Considerando a velocidade dos indivíduos em 1,6 m/s, o abandono completo das pessoas do local deu-se em 36,5 segundos. Na Figura 57, é apontado o número de ocupantes em relação ao seu tempo de saída.

Figura 57: Resultados LSHT no *Pathfinder*, tempo de evacuação.

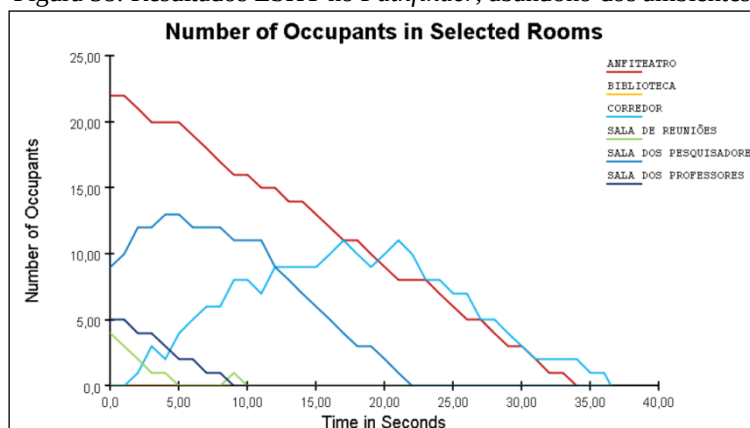


Fonte: A autora.

Verificou-se a partir da Figura 57 que, o primeiro indivíduo a evacuou os ambientes em 4s de simulação, enquanto o último ocupante abandonou o local em 36,5s (essas informações podem ser identificadas no gráfico com a linha na cor roxa). Na leitura do gráfico também, percebe-se que todos os quarenta ocupantes saíram do LSHT aos 36,5s (demostrado com a linha na cor verde). Nota-se que, o programa *Pathfinder* também fornece os dados dos resultados obtidos em formato de gráfico.

O segundo gráfico disponibilizado pelo software reflete os resultados das evacuações (Figura 58), especificando os segundos em que o ambiente foi deixado em relação número de ocupantes presentes no local, sendo possível então, identificar qual área tem maior potencial de abandono.

Figura 58: Resultados LSHT no *Pathfinder*, abandono dos ambientes.



Fonte: A autora.

De acordo o gráfico da Figura 58, verifica-se que o tempo de abandono dos ambientes varia, sendo o corredor de acesso o último espaço a ser evacuado, já que todos os ocupantes passam por ele no momento do abandono.

4.2 Resultados do Bloco A

Essa edificação já era existente no terreno onde hoje é a instituição de ensino público a nível superior (desde 1912, ano de fundação da POLI/UPE). Sendo assim, a construção do século passado possui características diferentes, tal como paredes espessas, isso devido aos métodos construtivos que são diferentes dos atuais.

Sua fachada também possui a tipologia arquitetônica referentes a época de concepção, sendo estas as seguintes características: frontão, arquitrave, adornos nos contornos das portas e janelas e cor em tom pastel. As imagens a seguir demonstram as fachadas do bloco A (Figura 59).

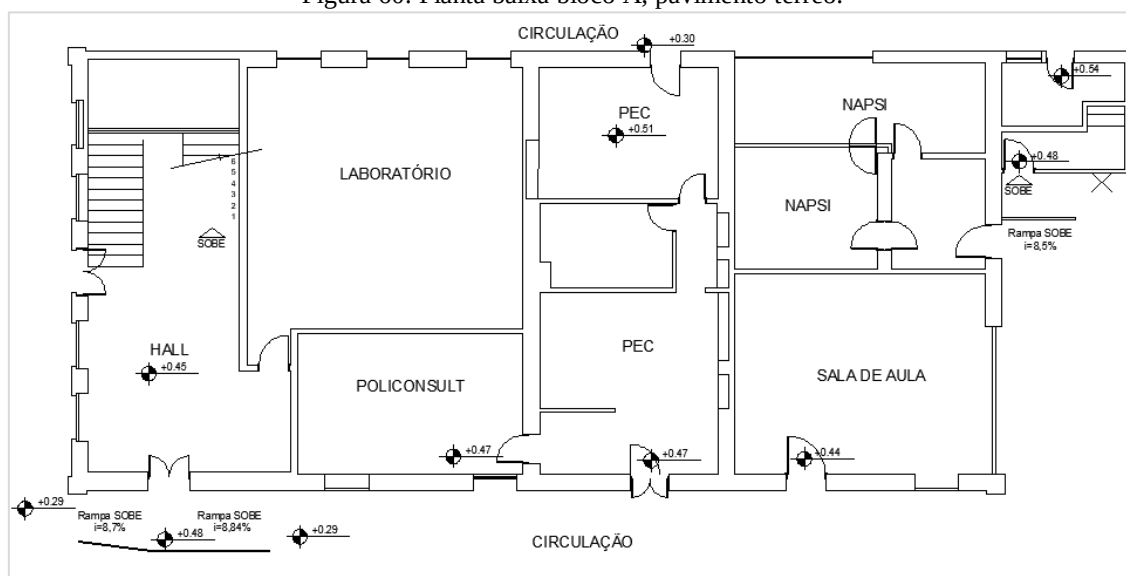
Figura 59: Fachadas bloco A.



Fonte: A autora.

Seu interior é constituído por diversas salas, sendo estas: o hall de entrada, laboratório de informática, policonsult, PEC, NAPSÍ e sala de aula A3 presentes no pavimento térreo, assim como pode-se identificar na planta baixa da edificação representada pela Figura 60.

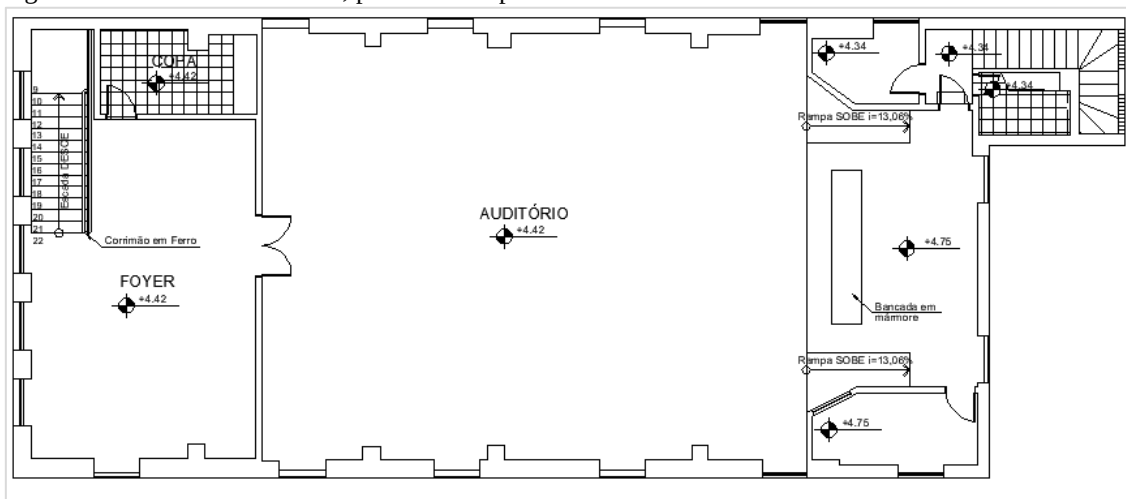
Figura 60: Planta baixa bloco A, pavimento térreo.



Fonte: POLI/UPE (2021) modificado pela autora.

Já no pavimento superior tem-se os seguintes ambientes: copa, foyer, auditório, sala técnica e WC. A planta baixa deste primeiro pavimento é demonstrada, a seguir (Figura 61).

Figura 61: Planta baixa bloco A, pavimento superior.



Fonte: POLI/UPE (2021) modificado pela autora.

Após serem efetuados estudos por meio dos projetos e visitas técnicas a edificação, foi definida que a sala em que haveria a simulação do princípio de incêndio, através do *software PyroSim*, seria o auditório, já que este é o ambiente em que comportariam a maior quantidade de pessoas, comparado aos demais. A relação entre o número de indivíduos e o sinistro seria que, possivelmente, quanto mais pessoas no local maior será a dificuldade de evacuação e de provavelmente terem a saúde prejudicada pelo excesso de fumaça e de temperatura elevada. A Figura 62 mostra o auditório.

Figura 62: Auditório POLI/UPE.



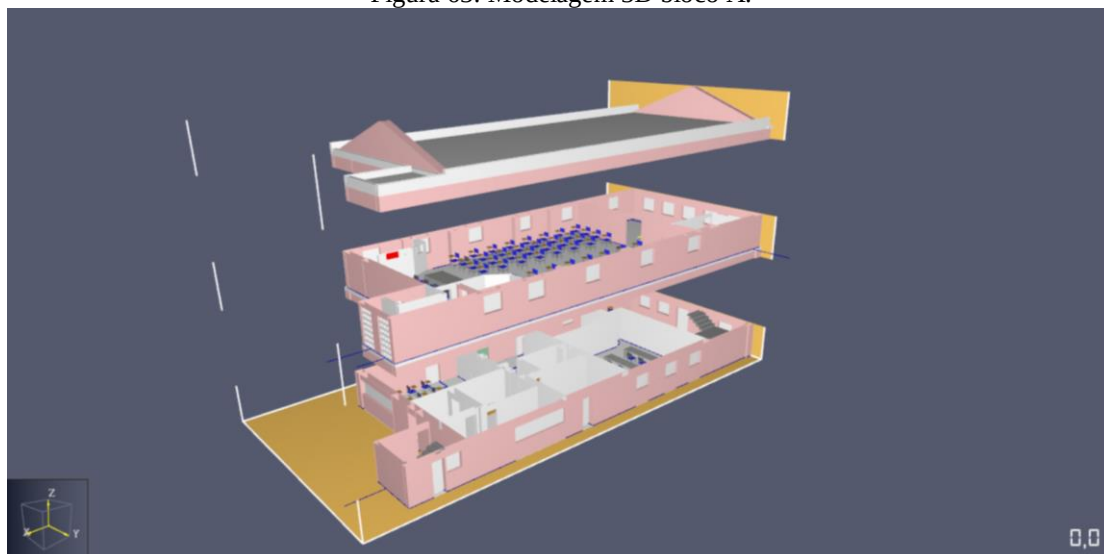
Fonte: A autora.

4.2.1 Simulação PyroSim no Bloco A

A partir da visita técnica, registro fotográfico e do estudo do projeto foi realizada a modelagem da edificação em 3 Dimensões, e, posteriormente foram inseridos os as configurações dos materiais, superfícies, ventilações e parâmetros de queima. Ao que se

refere ao ponto de ignição do incêndio, posto onde é localizado um aparelho de ar condicionado, o que, portanto simularia um curto-circuito neste equipamento. Na Figura 63, a seguir, apresenta o modelo em 3D e o ponto de ignição.

Figura 63: Modelagem 3D bloco A.

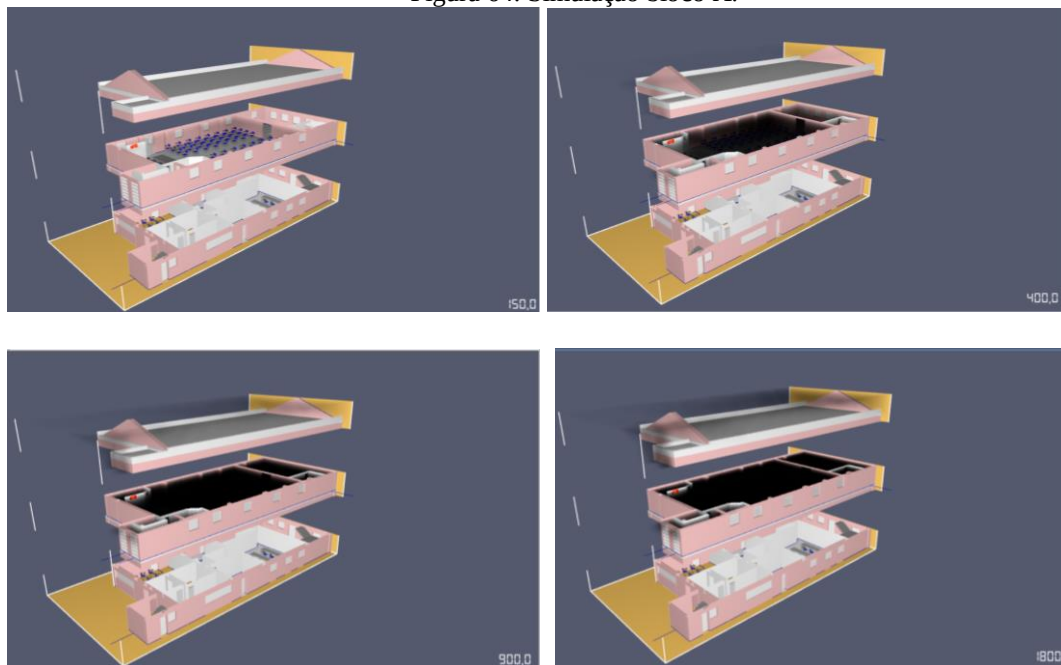


Fonte: A autora.

Com o tempo de simulação definido de 1.800s, tal como citado no capítulo de metodologia referente a esta pesquisa, a simulação foi iniciada. Analisando a simulação pode-se perceber o início da dispersão da nuvem de fumaça no auditório aos 150s. Em 400 segundos é possível observar que a fumaça já dominou todos os ambientes do primeiro andar da edificação.

Dos 900s aos 1.800s nota-se o aumento da densidade da camada de fumaça, que por sua vez, tende a dirigir-se para cima, por este motivo é possível visualizar o fumo, na parte externa da edificação, próxima a coberta. As informações citadas podem ser verificadas nas imagens presentes na Figura 64.

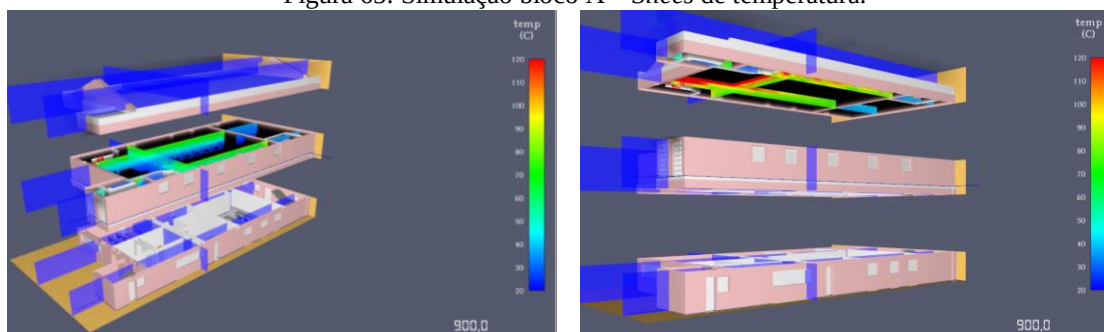
Figura 64: Simulação bloco A.

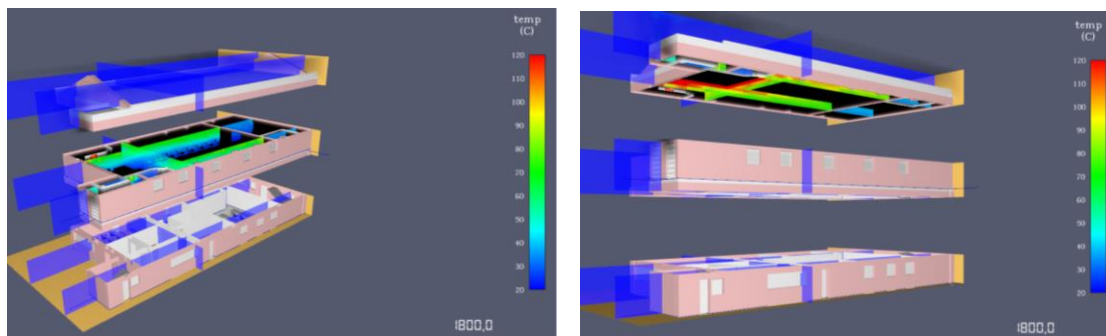


Fonte: A autora.

Em relação à temperatura alcançada, dentro do tempo estipulado para a simulação, é possível perceber o aumento gradativo de temperatura, passando dos 20°C, para 60°C, posteriormente 100 a 110°C, e por fim 120°C. Esta temperatura máxima foi atingida aos 900s e manteve-se até o fim da simulação.

Sendo, portanto, possível visualizar graficamente por meio dos *Slices* (fatias) de temperatura, onde a legenda ao lado ilustra as temperaturas por intermédio das cores. As informações mencionadas podem ser verificadas na Figura 65.

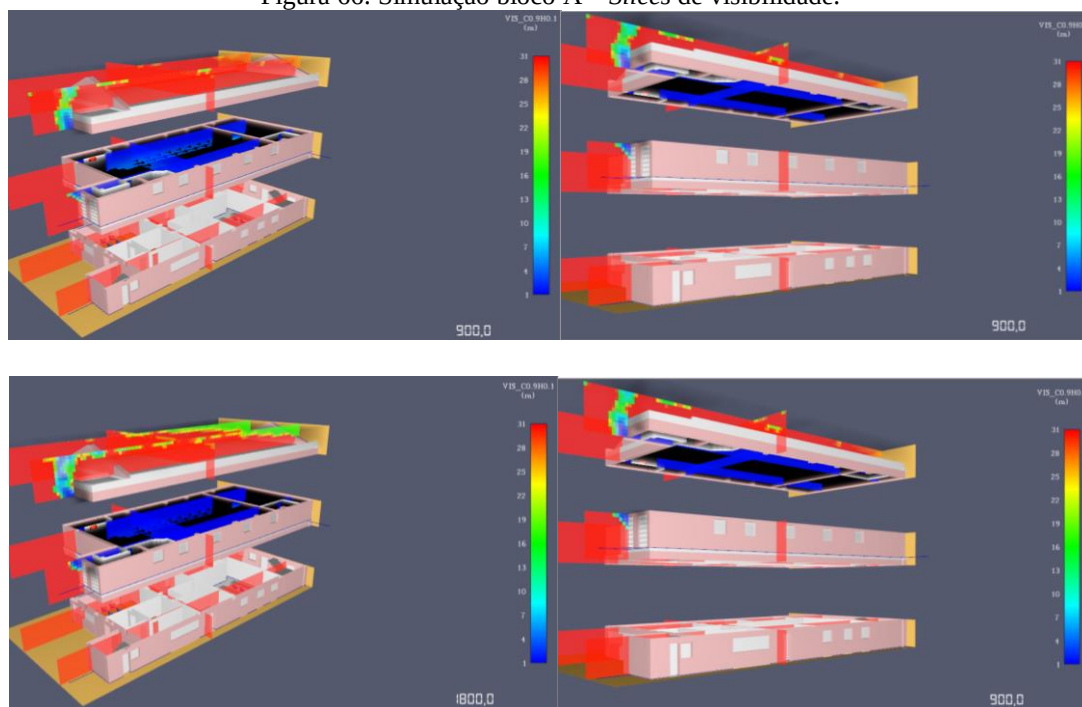
Figura 65: Simulação bloco A – *Slices* de temperatura.



Fonte: A autora.

Ao que tange os aspectos de visibilidade, onde 31 é o grau de visibilidade completa e 0 é o grau de impossibilidade de visualização em razão da camada de fumaça formada durante o incêndio, a simulação do bloco A atingiu, no primeiro pavimento, o grau 1, como pode ser observado na Figura 66.

Figura 66: Simulação bloco A – Slices de visibilidade.

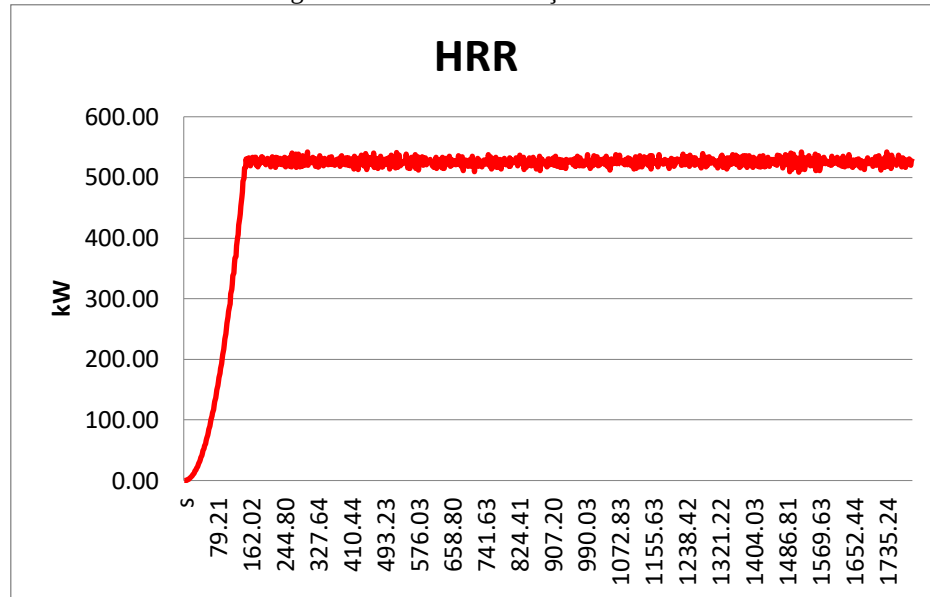


Fonte: A autora.

4.2.1.1 Taxa Liberação de Calor

A Taxa de Liberação de Calor ou HRR, sendo a quantidade de calor liberada o que aponta, portanto, a dimensão do incêndio, atingiu ao termino dos 1800s, valores por volta de 500kW a 520kW. É possível identificar graficamente o aumento e oscilação da TLC por meio da Figura 67.

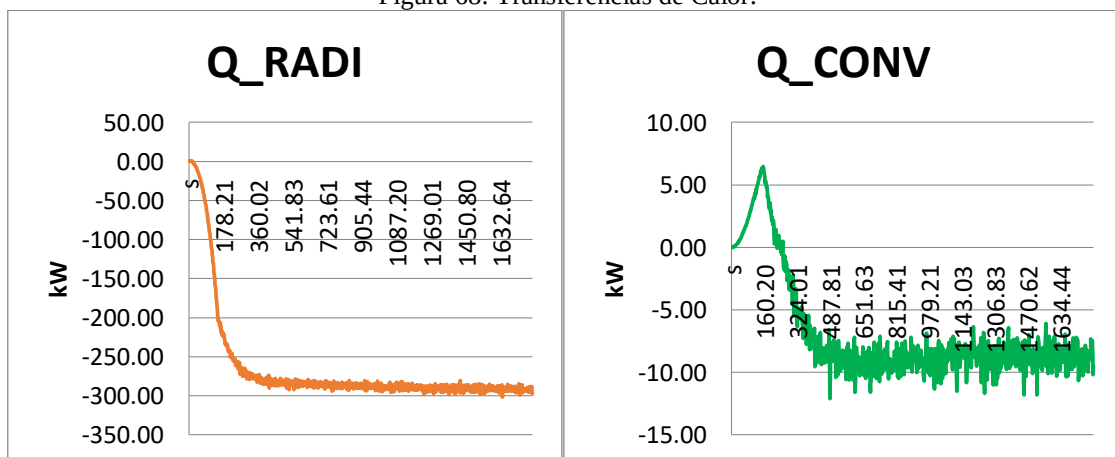
Figura 67: Taxa de Liberação de Calor.

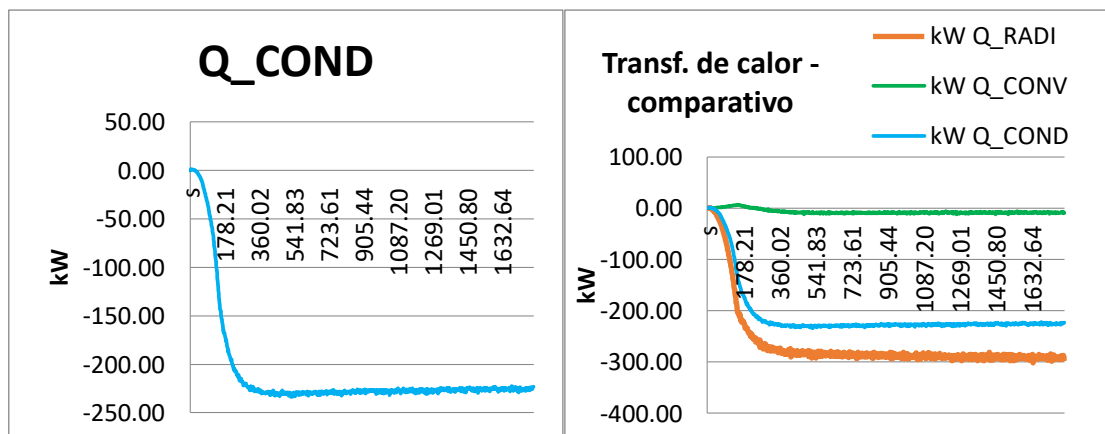


Fonte: A autora.

As transferências de calor, radiação (Q_{RADI}), convecção (Q_{CONV}) e condução (Q_{COND}), apontam a forma predominante da emissão do calor. Analisando os resultados da simulação através de análise gráfica, nota-se que o tipo de transferência de calor predominante foi à radiação com a resultado de 300 kW. A transferência de calor por condução obteve o valor de aproximadamente 240 kW e a convecção com a oscilação entre 5 a 12 kW (Figura 68).

Figura 68: Transferências de Calor.



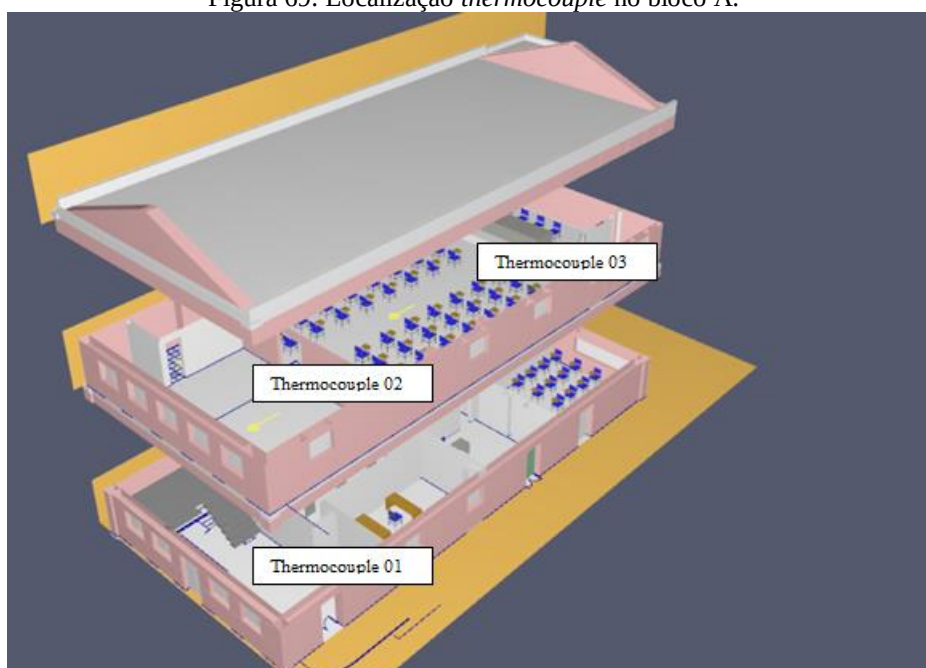


Fonte: A autora.

4.2.1.2 Temperatura bloco A

Para a verificação da temperatura em lugares específicos são inseridos no software os *Thermocouples* (pares termoeletricos) por intermédio do comando *Device*. Sendo assim, foram adicionados três pares termoeletricos. O primeiro no hall principal do pavimento térreo, por onde é um dos acessos principais ao auditório; o segundo no hall do auditório; e o terceiro próximo à fonte de calor. É possível constatar as informações citadas na Figura 69, exposta a seguir.

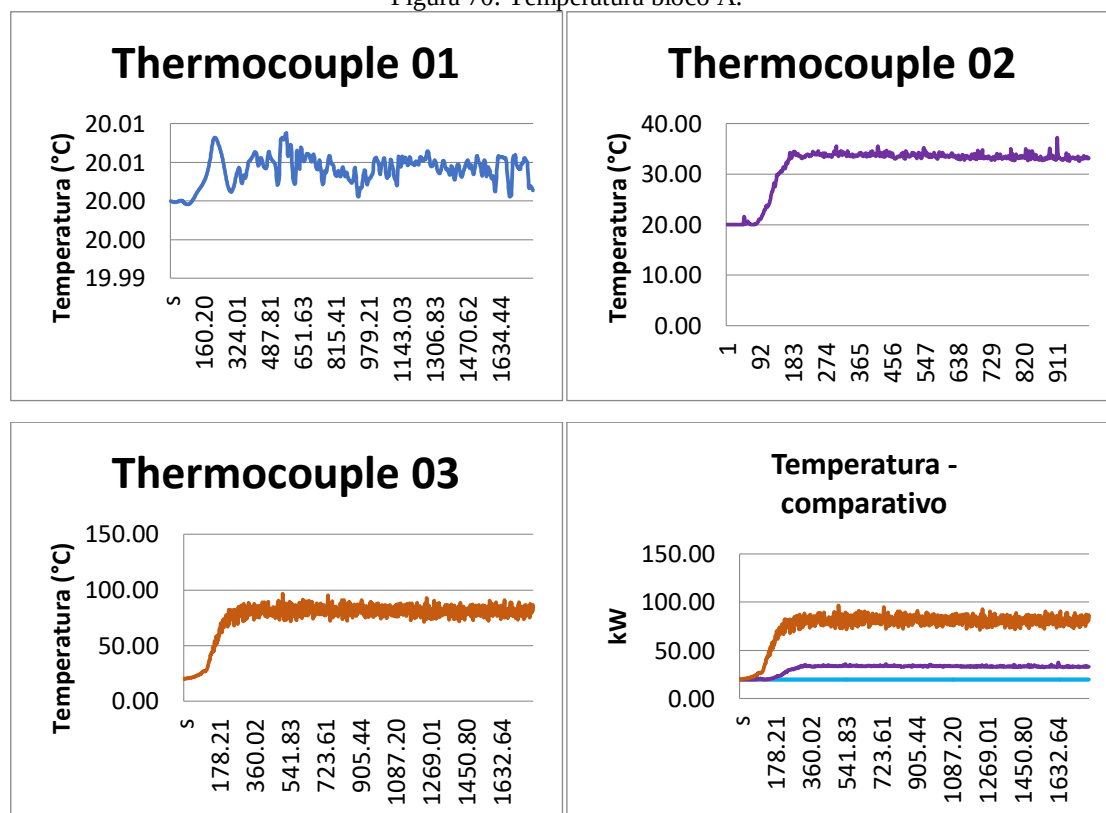
Figura 69: Localização *thermocouple* no bloco A.



Fonte: A autora.

A partir dos pares termoeletricos localizados a 1.70m do piso, foi identificado que o ambiente com a maior temperatura foi o auditório, onde o *thermocouple* identificou a temperatura de 100°C. A Figura 70 mostra os digramas referentes às informações citadas.

Figura 70: Temperatura bloco A.



Fonte: A autora.

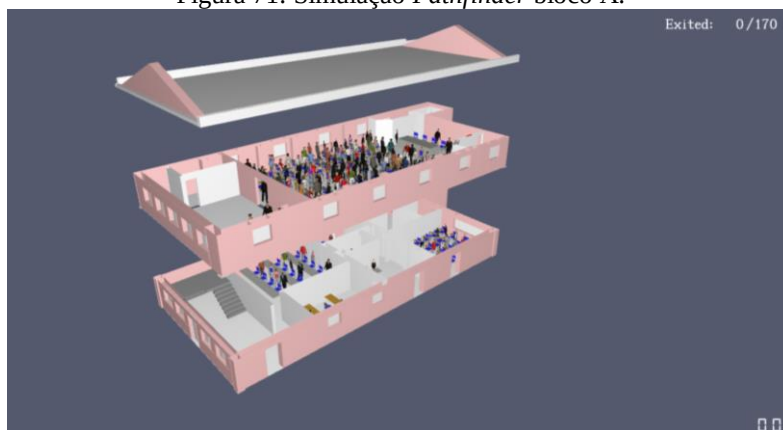
Mediante a Figura 70, tem-se que a maior temperatura alcançada foi a de 120°C, entretanto, esta temperatura está dentro de uma altura a partir de 2.10m, por este motivo os pares termoeletricos não a identificaram. Em relação aos demais *thermocouples*, o número 02 obteve uma leve alteração de temperatura, alcançando por volta dos 40°C; já o de número 01 praticamente não obteve variação.

4.2.2 Simulação Pathfinder no Bloco A

Para a simulação de evacuação, com a utilização do programa *Pathfinder*, foram inseridos 170 pessoas no total, onde a maior quantidade de indivíduos concentra-se no auditório, sendo, portanto, a sua capacidade máxima identificada pelo número de cadeiras, consequentemente 112 pessoas. Em todos os outros ambientes foram postos os

indivíduos de acordo com seu uso cotidiano e também segundo a quantidade de cadeiras (Figura 71).

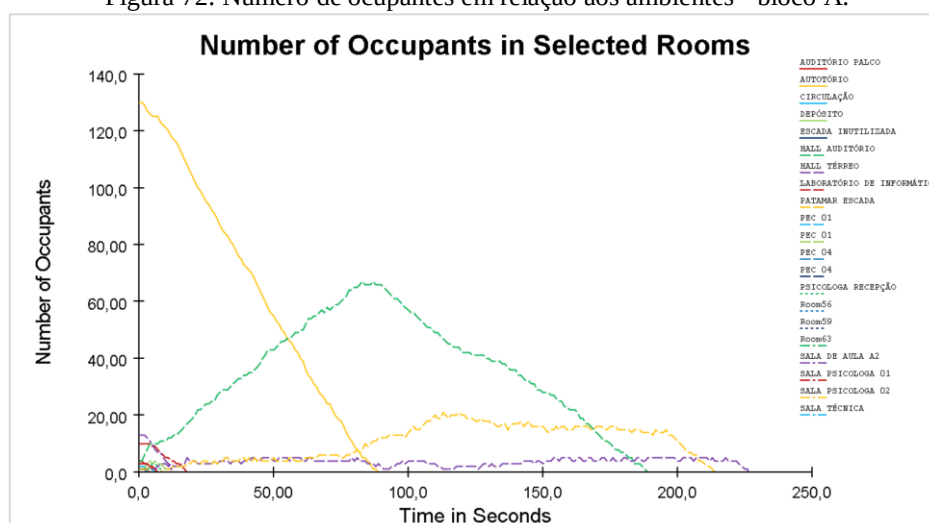
Figura 71: Simulação *Pathfinder* bloco A.



Fonte: A autora.

Os primeiros ocupantes a saírem da edificação foram os localizados no pavimento térreo, sendo os seguintes ambientes: laboratório de informática, PEC, POLICONSULT, sala de aula A-1 e NAPSÍ. Logo, os últimos ocupantes a serem evacuados foram os presentes no primeiro pavimento, especificamente os ocupantes presentes no auditório. O gráfico a seguir aponta a saída dos ocupantes ambiente por ambiente (Figura 72).

Figura 72: Número de ocupantes em relação aos ambientes - bloco A.

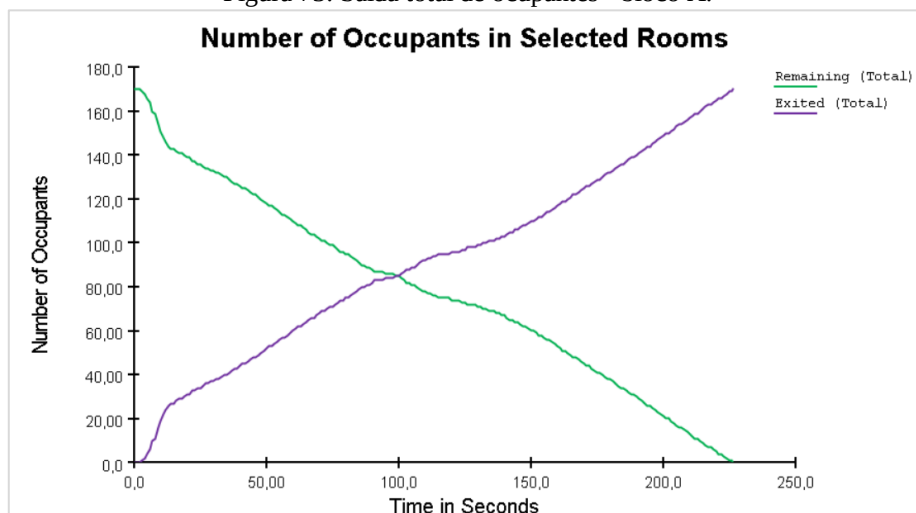


Fonte: A autora.

O diagrama a seguir demonstra o número total de pessoas em relação ao tempo final de evacuação, representado pela linha de cor verde. Já em no que diz respeito à saída de

ocupante por ocupante é expressa pela linha roxa. Sendo assim, temos os 170 ocupantes evacuados da edificação aos 226,3 segundos (Figura 73).

Figura 73: Saída total de ocupantes - bloco A.



Fonte: A autora.

4.3 Resultados do Bloco IK

Trata-se da construção mais recente na Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, obtendo três andares, onde temos salas de aula, banheiros, secretaria de pós-graduação, DATP, sala dos professores, laboratório de topografia, laboratório de manufatura, sala de vídeo conferência, LSHT, e sala de desenho. Neste bloco, além das escadas também se tem elevador. A imagem da fachada desta edificação é apresentada na Figura 74.

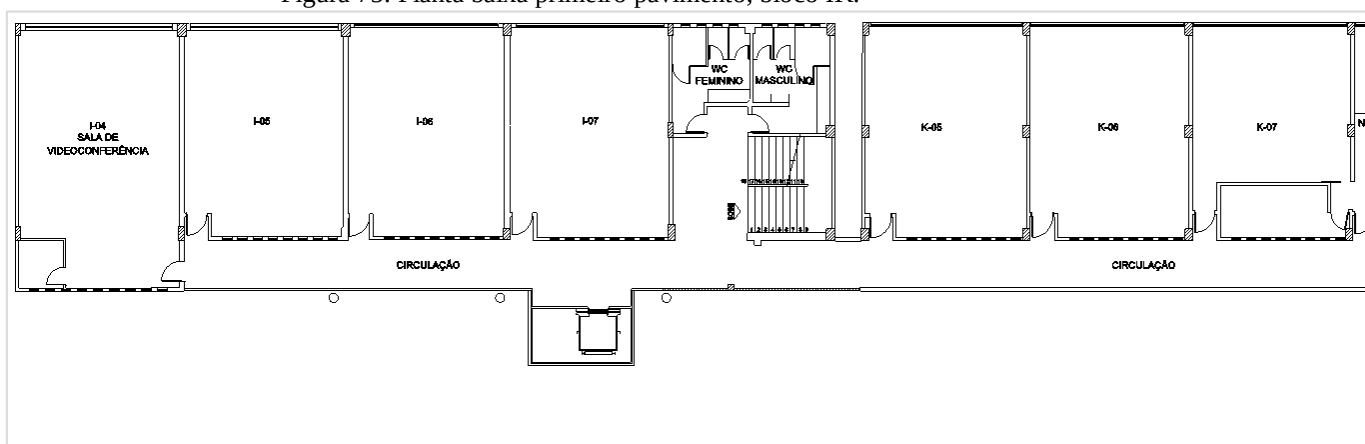
Figura 74: Fachada bloco IK.



Fonte: A autora.

O andar escolhido para comportar a simulação de incêndio foi o primeiro andar. A escolha justifica-se no conceito de que a fumaça contendo temperatura elevada tende a dirigir-se para cima. De acordo com Novais (2018) *apud* Fulfaro (2019), isso acontece porque a fumaça “é menos densa que o ar atmosférico, graças a sua alta temperatura. Isso explica por que uma pessoa presa num prédio em chamas, à espera de salvamento, deve deitar-se no chão à procura de oxigênio” p.01. Desta forma, a escolha do primeiro andar se deu por se tratar de um pavimento intermediário. A planta baixa de este andar é demonstrada a seguir (Figura 75).

Figura 75: Planta baixa primeiro pavimento, bloco IK.



Fonte: POLI/UPE (2021) modificado pela autora.

A sala que conterá o princípio de incêndio foi a K5, sala próxima à escada, o que mostraria o desempenho da edificação na tentativa de evacuação das pessoas. A Figura 76 mostra a sala esta sala de aula.

Figura 76: Sala de aula K5.

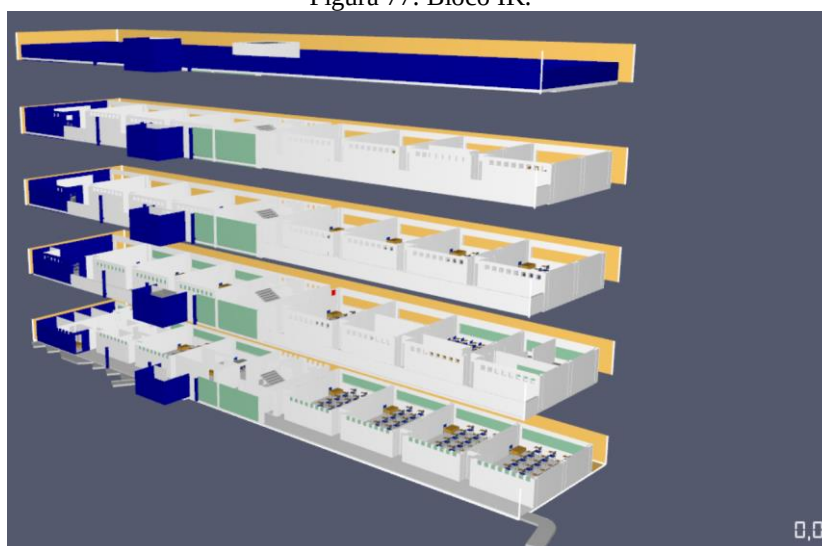


Fonte: A autora.

4.3.1 Simulação PyroSim no Bloco IK

Assim como as simulações anteriores, nesta também foi realizado uma visita técnica, registro fotográfico e estudo do projeto arquitetônico da edificação. Posteriormente, foi criado o arquivo com a modelagem 3D com o uso do software de simulação computacional de incêndio *PyroSim*, e foram inseridos os materiais, mobiliários, configurações de queima e os parâmetros do tempo para a finalização da simulação, sendo este, 30 min. (1.800s). A Figura 77 apresenta a modelagem do bloco IK segmentado para que se torne possível visualizar o seu interior.

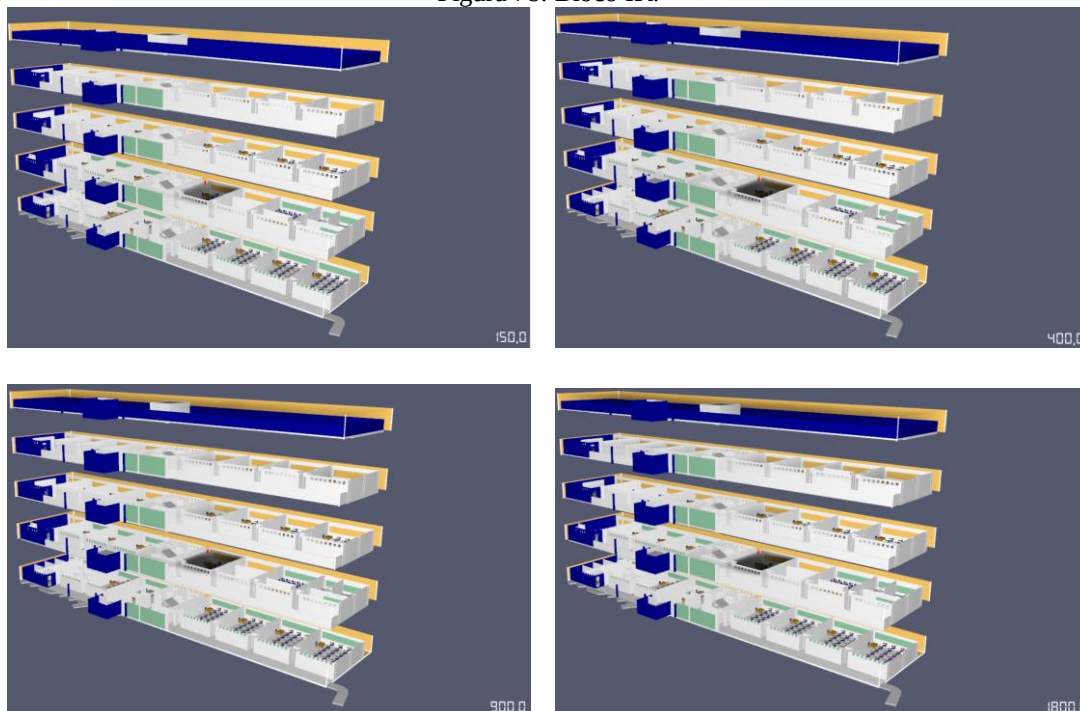
Figura 77: Bloco IK.



Fonte: A autora.

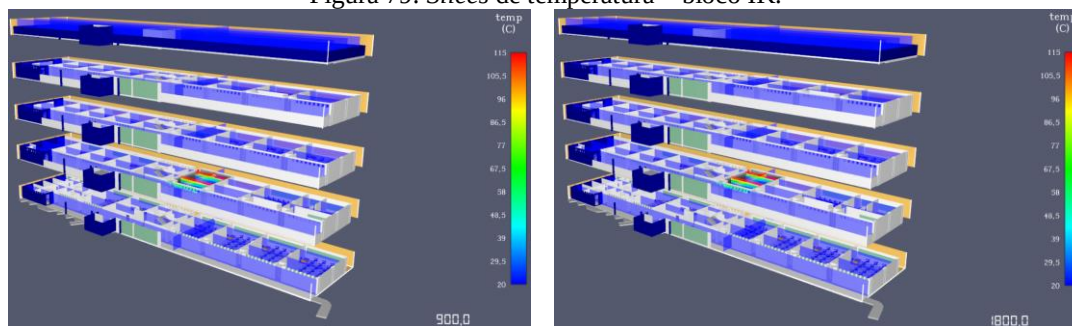
Ao contrário do bloco A, onde tem-se pequenas janelas que ficam constantemente fechadas, principalmente em dias de eventos realizados no auditório, no bloco IK existem salas em que contém ventilação natural obtidas pelas janelas, além da abertura nos corredores apresentada acima do peitoril. Logo, a temperatura não atinge os ambientes circunvizinhos e a fumaça é dissipada. No que diz respeito à fumaça, verifica-se o crescimento da nuvem a partir dos 98,5s e aumentando sua viscosidade até o fim da simulação, como pode ser visto na Figura 78.

Figura 78: Bloco IK.



Fonte: A autora.

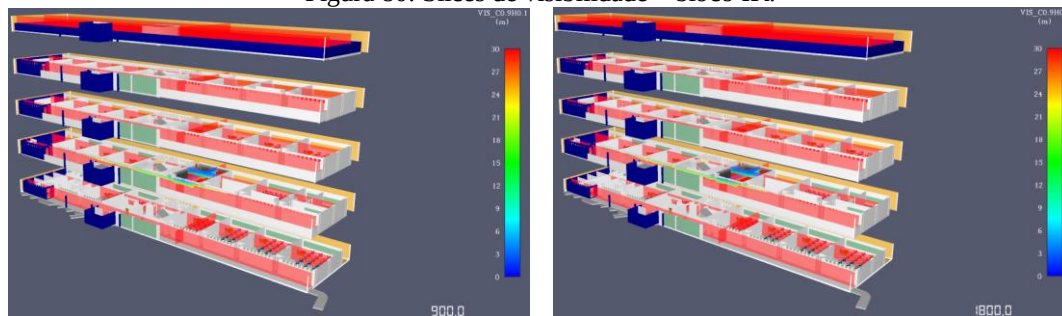
Em relação às *slices* de temperatura e de visibilidade, a primeira é possível observar que a maior temperatura alcançada dentro do tempo de 1.800s foi de 115°C, mas durante esse período a temperatura não se expandiu para os demais ambientes, permanecendo apenas na sala em que se deu o princípio de incêndio. Essas informações podem ser vistas na Figura 79.

Figura 79: *Slices* de temperatura – bloco IK.

Fonte: A autora.

Não obstante, nos *slices* de visibilidade verifica-se por meio da Figura 80, que a fumaça produzida pelo incêndio alcança os corredores do primeiro pavimento, e, sai pela abertura acima do peitoril, subindo pela fachada principal em direção à coberta da edificação.

Figura 80: Slices de visibilidade – bloco IK.

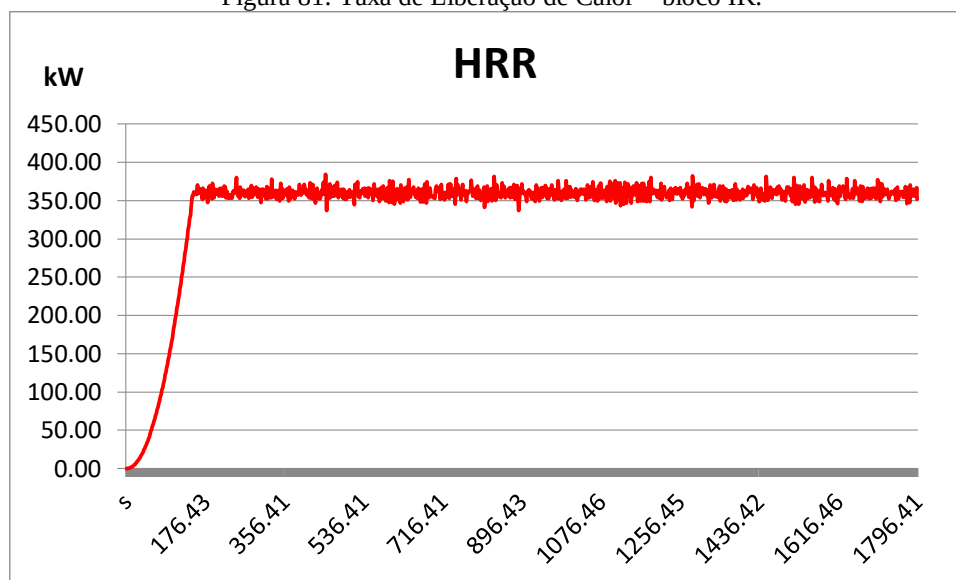


Fonte: A autora.

4.3.1.1 Taxa Liberação e tipos de transferência de Calor

O Heat Release Rate para a simulação do bloco IK teve os resultados com oscilação entre 350 a 380 kW, como é possível ser observado no diagrama exposto a seguir (Figura 81).

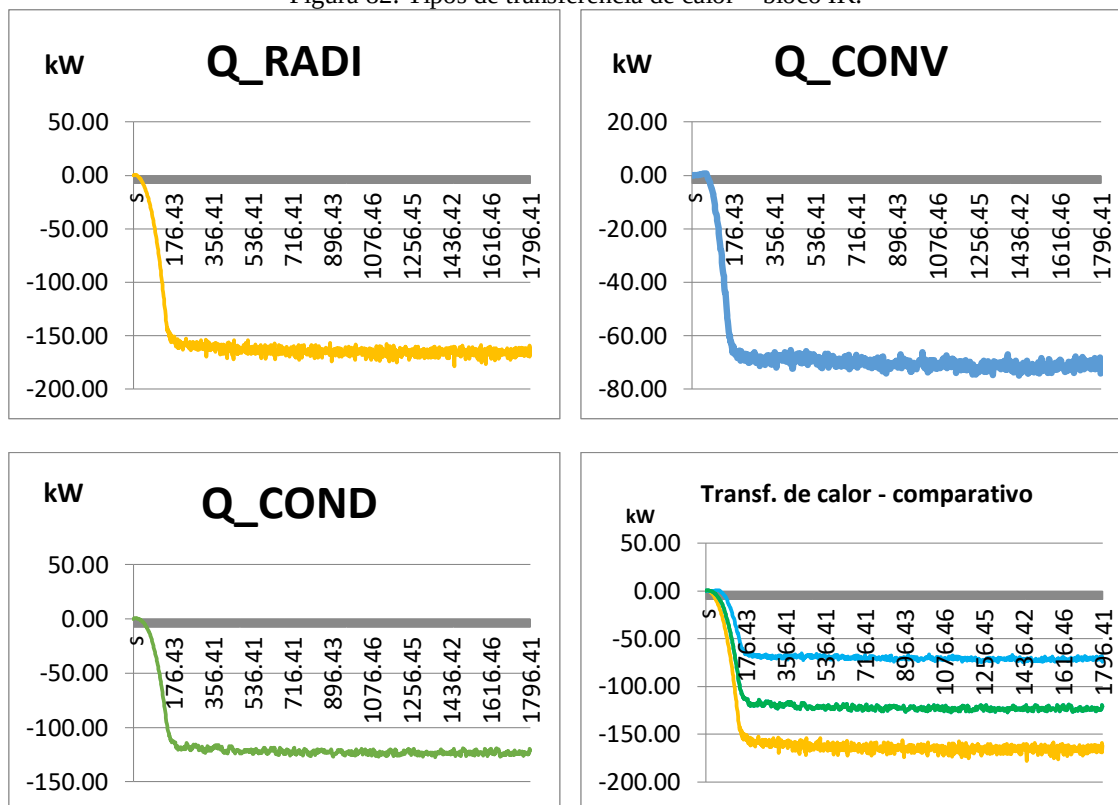
Figura 81: Taxa de Liberação de Calor – bloco IK.



Fonte: A autora.

No que tange os resultados a respeito dos tipos de transferência de calor temos os seguintes resultados: 169 kW produzidos pela radiação; 125 kW gerados mediante a condução e 74 kW pela convecção. Sendo, portanto, o tipo de transferência de calor predominante, a radiação (Figura 82).

Figura 82: Tipos de transferência de calor – bloco IK.

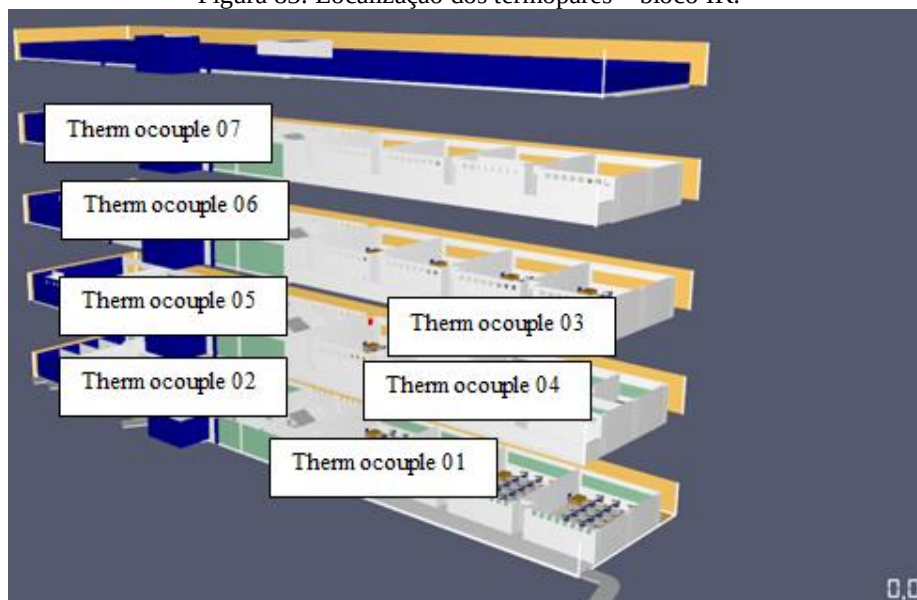


Fonte: A autora.

4.3.1.2 Temperatura bloco IK

A escolha para a localização dos termopares para o bloco IK foi pensada de forma a verificar os principais acessos por onde os ocupantes necessariamente precisam passar durante o processo de evacuação. Neste sentido os *Thermocouples* 02, 05, 06, foram inseridos nas escadas e os pares termoeletrônicos 01 e 07 foram postos na circulação de acesso as escadas. Já os de número 03 e 04 estão localizados na sala em que se deu o princípio de incêndio, a fim de verificar as temperaturas alcançadas durante 1.800s de simulação (Figura 83).

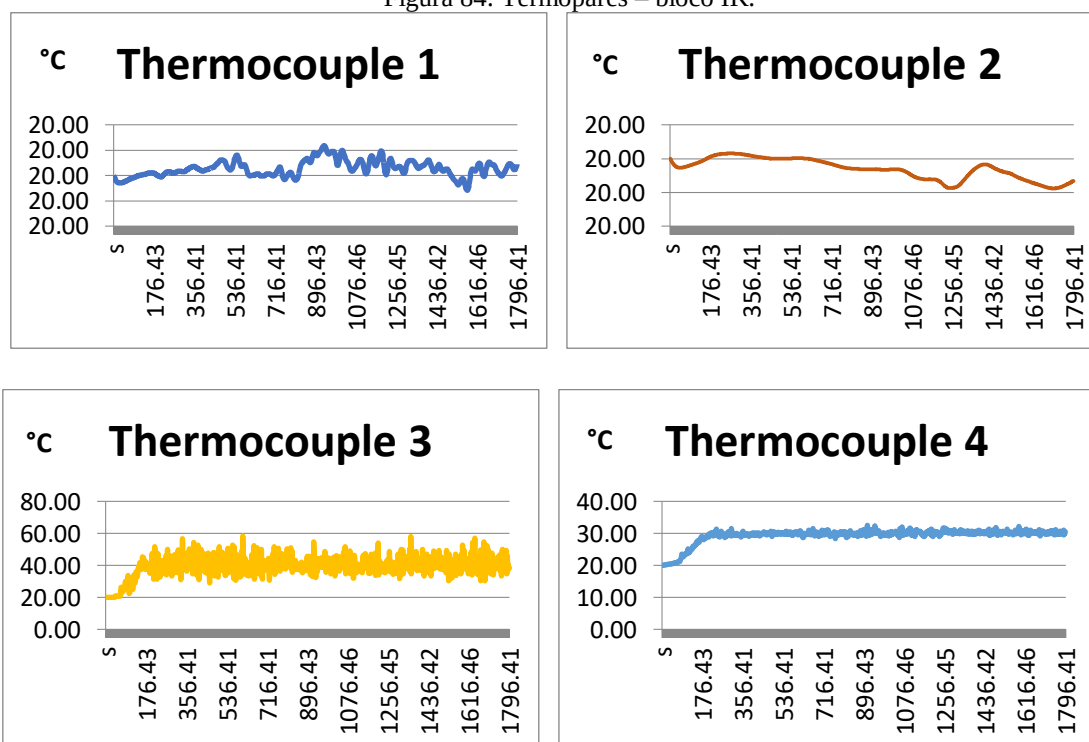
Figura 83: Localização dos termopares – bloco IK.

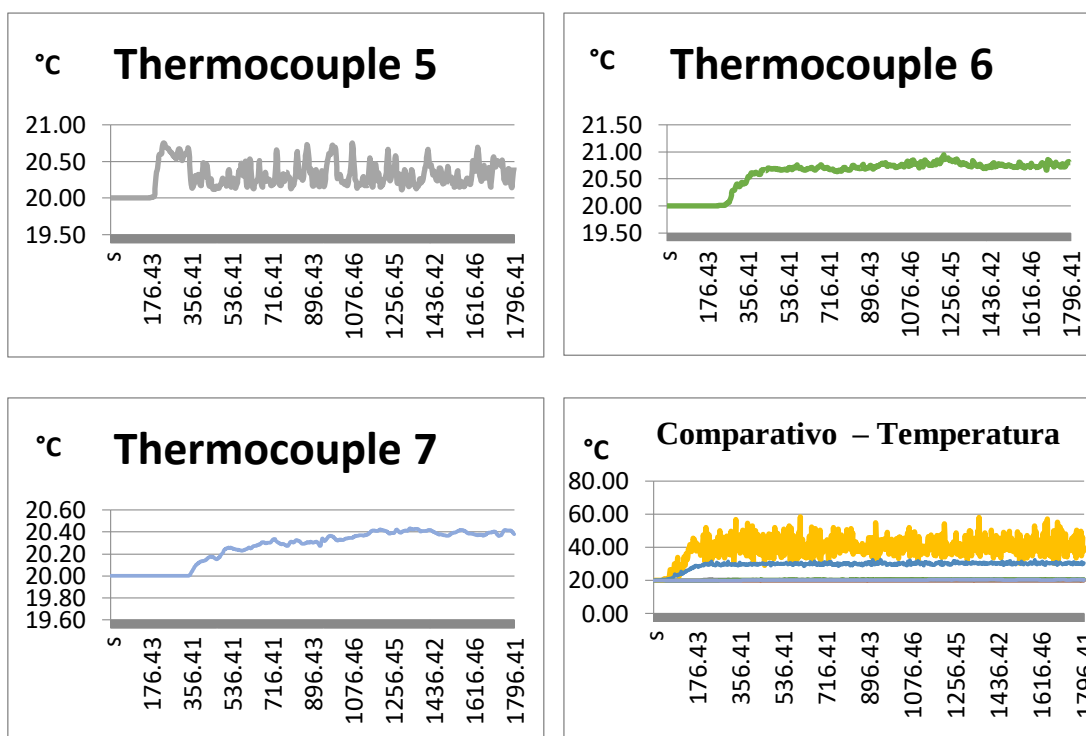


Fonte: A autora.

Os *Thermocouples* 01, 02, 05, 06, 07, localizados nos acessos, basicamente não obtiveram alteração de temperatura. Todavia, os termopares 03, 04 atingiram 50°C e 31°C, respectivamente (Figura 84).

Figura 84: Termopares – bloco IK.





Fonte: A autora.

Valem ressaltar que, todos os termopares foram adicionados a 1.70m do piso, logo esses expressam a temperatura de acordo com esta altura, entretanto sabe-se que de acordo com os resultados dos *slices* que a maior temperatura alcançada foi a de 115°C na sala de aula K-05.

4.3.2 Simulação Pathfinder no Bloco IK

Para a simulação de evacuação com o uso do software *Pathfinder*, foram postos 800 ocupantes. O número estimado de ocupantes baseou-se a partir da contagem da quantidade de cadeira por ambiente e por observação da movimentação cotidiana e funcionamento da universidade (Figura 85).

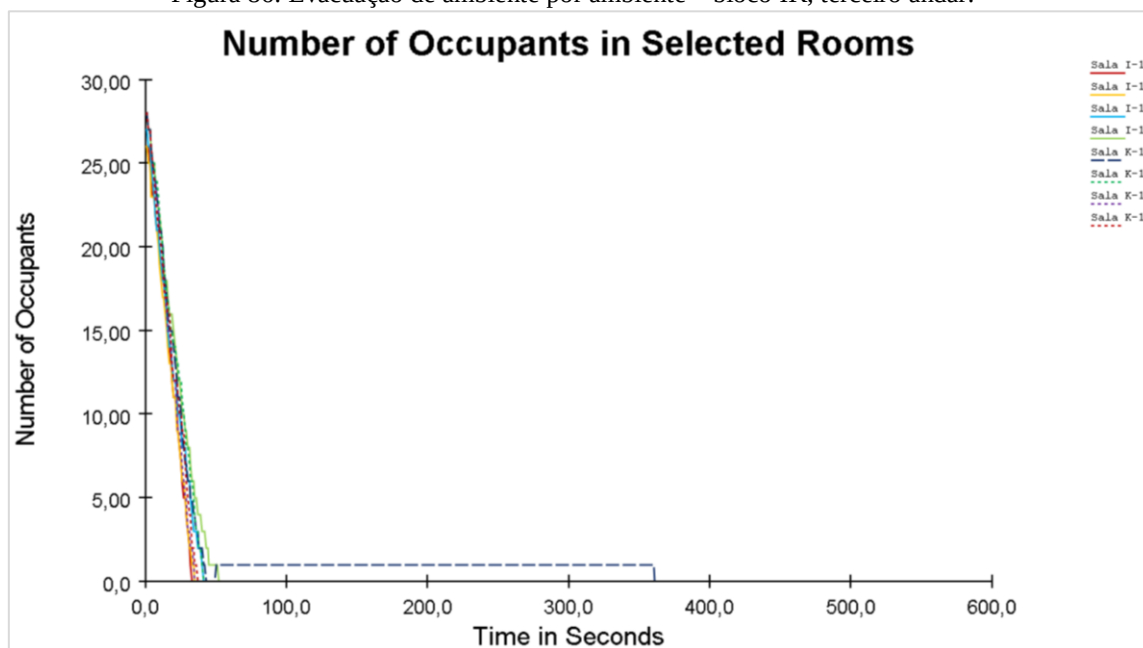
Figura 85: Simulação de evacuação – bloco IK.



Fonte: A autora.

Os primeiros ocupantes a serem evacuados são os do pavimento térreo, e consequentemente, quanto mais alto o pavimento menor será o potencial de abandono do ambiente. Aos cerca dos 78,8s o trânsito entre as pessoas começa a ficar cada lento, devido à quantidade de indivíduos na tentativa de descer pelas escadas. Esta situação permanece até os 396,7s. Nos diagramas da Figura 86 são apontados o quantitativo de pessoas e o respectivo tempo de evacuação de ambiente por ambiente.

Figura 86: Evacuação de ambiente por ambiente – bloco IK, terceiro andar.

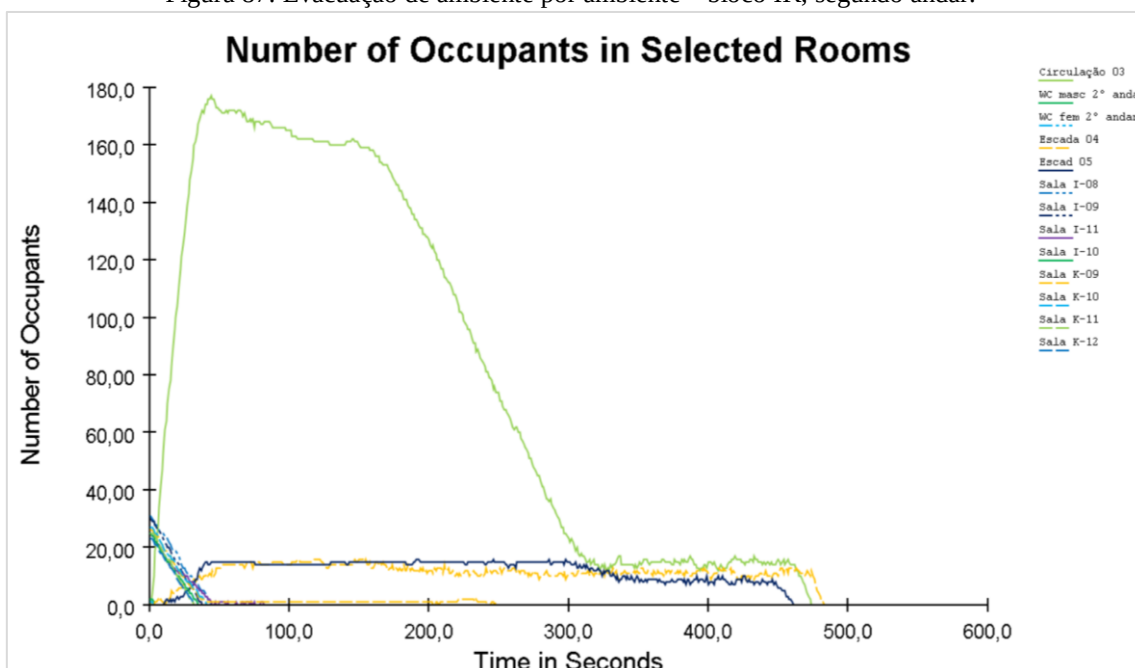


Fonte: A autora.

No segundo andar é possível identificar que a ultima sala de aula a ser abandonada foi a K-09, e o ultimo local a ser evacuado foi a escada 04, que todos os ocupantes do

terceiro e segundo andar, precisam transitar para realizar o abandono da edificação, conforme abaixo na Figura 87.

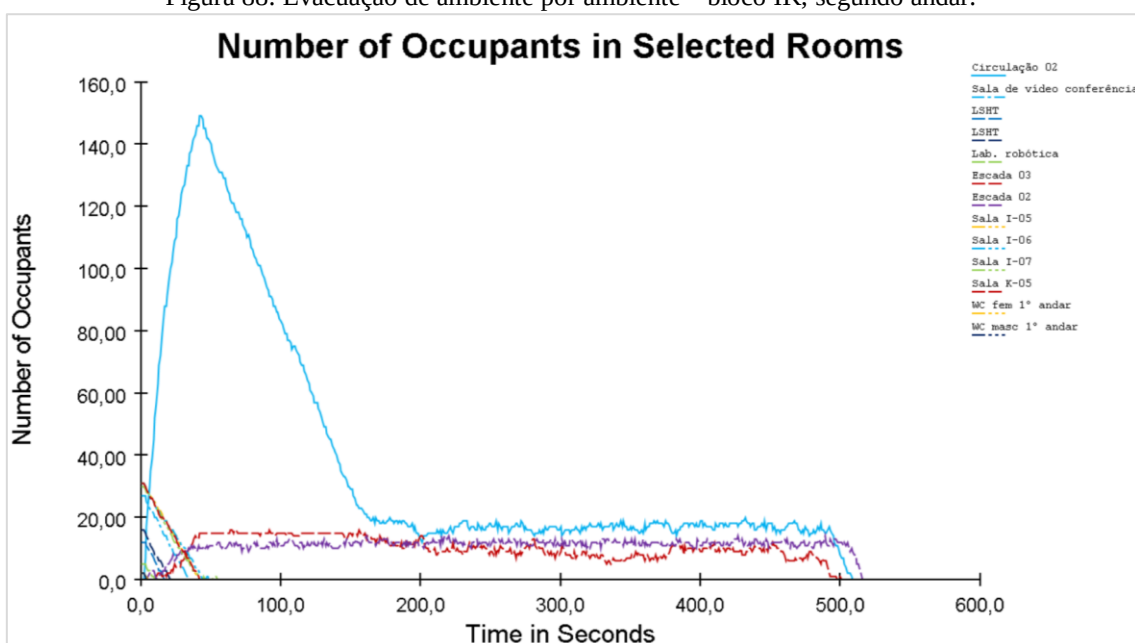
Figura 87: Evacuação de ambiente por ambiente – bloco IK, segundo andar.



Fonte: A autora.

A Figura 88 demonstra a ocupação total do primeiro andar em aproximadamente 510 segundos de simulação, como é possível verificar na imagem a seguir.

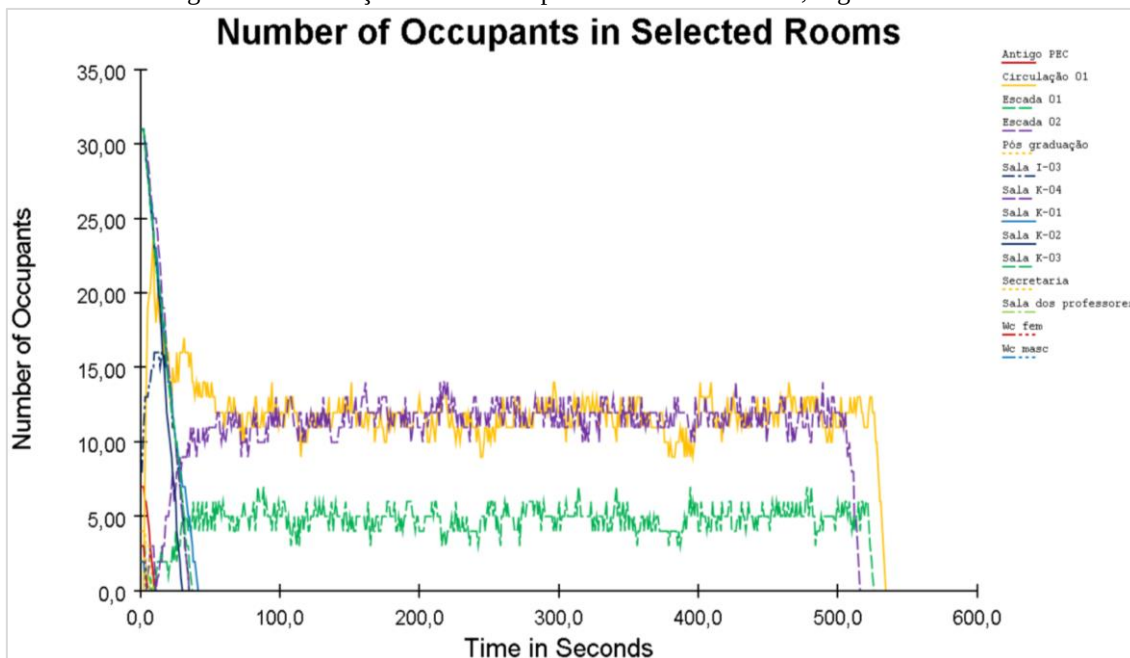
Figura 88: Evacuação de ambiente por ambiente – bloco IK, segundo andar.



Fonte: A autora.

Sendo assim, todos os ambientes e o último local a ser evacuado, sendo este a circulação 01, foram abandonados em aos 534,3s, logo, temos a simulação finalizada. As informações citadas podem ser verificadas na figura 89.

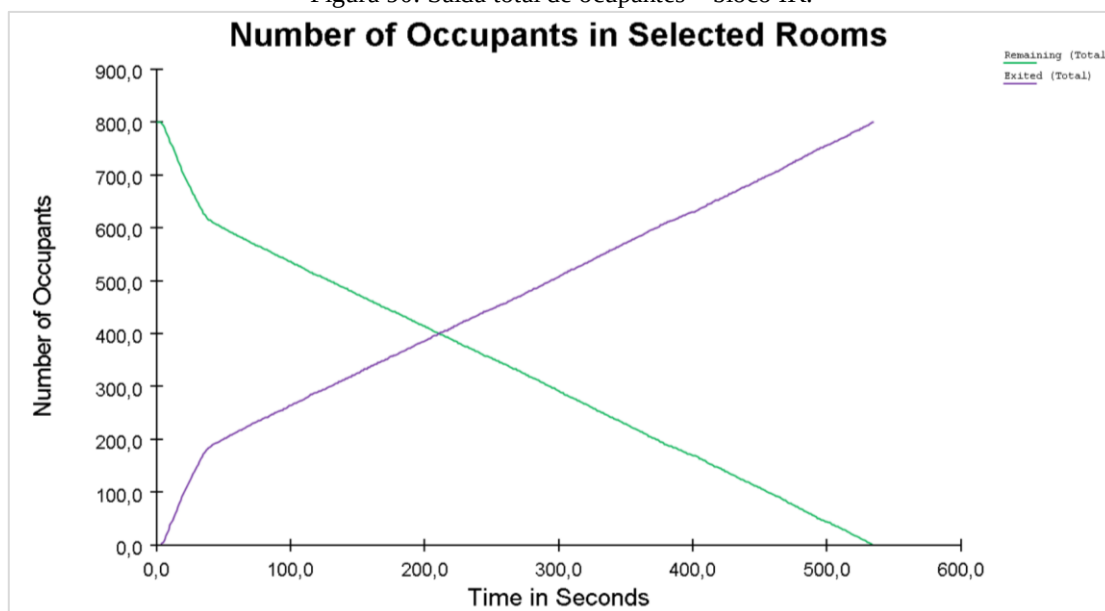
Figura 89: Evacuação de ambiente por ambiente – bloco IK, segundo andar.



Fonte: A autora.

A Figura 90 mostra graficamente a saída dos 800 ocupantes em relação ao tempo final de evacuação. Logo, temos o resultado do abandono total da edificação os 534,3 segundos de simulação.

Figura 90: Saída total de ocupantes – bloco IK.



Fonte: A autora.

4.4 Elaboração das diretrizes para projeto de SCI

Para elaboração das diretrizes, primeiramente, foi desenvolvido com o estudo das legislações e normativas; simulações foram realizadas e avaliadas; com os resultados da verificação de desempenho em duas edificações de uso institucional com características completamente diferentes foi desenvolvida a indicação das ações, para que, por fim resultasse na elaboração das diretrizes a partir do conjunto de informações adquiridas.

Ao que diz respeito especificamente da análise das necessidades juntamente com a indicação de ações, foi desenvolvida baseada em desempenho e prescrição. Assim, tem como princípio indicar a inserção apropriada dos equipamentos de extinção do fogo, sinalização das saídas (comunicação visual) e dimensionamento das rotas de fuga.

A planilha indica os softwares utilizados; o local estudado; tipologia da edificação; os itens a serem analisados; informações e ações com base nas simulações (desempenho) e da normativa respectiva ao item (prescritiva), obtendo as soluções para o projeto de SCI relacionados a implantação dos equipamentos; legislação, norma ou código estudado para fundamentar a indicação das ações; e as observações que justificam a tomada de decisão descrita nas informações/ações.

As Tabelas 8 e 9 mostram o modelo preenchido a partir das simulações realizadas no bloco A e posteriormente no bloco IK da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco.

Tabela 8: Ações baseadas em desempenho e prescrição– bloco A.

AÇÕES BASEADA EM DESEMPENHO E PRESCRIÇÃO – BLOCO A			
Item	Informações/ Ações (Baseado em desempenho e prescrição)	Legislação/ norma/ código (Prescritivo)	Observações
Softwares utilizados	<i>PyroSim</i> : Simulador de dinâmicas de incêndio. <i>Pathfinder</i> : Simulador de abandono de edificação.		São efetuados os <i>downloads</i> dos dois <i>softwares</i> através do site da <i>Thunderhead Engineering</i> .
Tipologia da edificação	Institucional. Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE).		
Classificação de uso da ocupação	Tipo K - Escolar.	COSCIP/PE	
Caraterísticas da edificação	Edificação de ensino superior, constituído por salas de aula, PEC, auditório, laboratório de informática e NAPSÍ. Edificação com pavimento térreo e superior. Bloco A.		

Sistema de detecção	Neste caso, todos os ambientes devem obter detectores de fumaça.	ABNT NBR 9441:1998: Execução de sistemas de detecção e alarme.	De acordo com o Anexo A da normativa, para que o detector seja acionado faz-se necessário que ele seja atingido pela temperatura ou pela fumaça de maneira adequada para que o sistema eletrônico seja ativado.
Sistema de extinção do fogo - Extintores de incêndio	Classificação de risco "baixa". Tipos A e C. Devem ter extintores no hall de acesso ao auditório, tanto no pavimento térreo como no primeiro andar; sala de aula A-1, PEC e NAPSÍ.	ABNT NBR 12693: 1993: Sistemas de proteção por extintores de incêndio.	O ponto 5.2 da norma relata que os extintores devem estar em locais de fácil acesso, devendo estar localizados nas passagens, exceto escadas.
Sistema de extinção do fogo - Hidrantes e mangotinhos	Sistema de tipo 1 com vazão de 100L/min. Neste caso, podem ser utilizados os mangotinhos com uma torneira a 40mm do piso ou um sistema alternativo de hidrantes (vazão de 130L/min.). Devem estar localizados no hall de acesso ao auditório no térreo e no hall no andar primeiro andar, próximo ao acesso a escada.	ABNT NBR 13714: 2000: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio.	Segundo a seção 5.1 da norma os pontos de tomada de água devem estar localizados a não mais que 5 metros das portas externas ou acessos a áreas protegidas. Não podem estar localizados em escadas.
Sistema de extinção do fogo - Chuveiro automáticos (Sprinklers)	Ocupação de risco Leve. A maior temperatura alcançada foi próxima ao forro da edificação, por isso, recomenda-se a utilização de chuveiro modelo antigo (cujo defletor é para cima, onde grande parte da água é dirigida para cima, contra o teto, e o restante para baixo).	ABNT NBR 10897: 2004: Proteção contra incêndio por chuveiro automático – procedimento.	A área coberta pelos chuveiros não devem exceder 18,6m ² (item 5.5.6.1.1).

Sistema de iluminação de emergência	Pintura auto luminescente nos rodapés e escadas. Iluminação "pisca-pisca" e indicação de saída de emergência acima dos acessos.	ABNT NBR 10898: 1999: Sistema de iluminação de emergência.	O primeiro pavimento, de acordo com a simulação, ficou tomado pela fumaça. O que dificulta a visualização da iluminação de emergência. Desta forma, medidas devem ser tomadas para que os ocupantes possam visualizar a iluminação de emergência.
Sinalização de segurança contra incêndio e pânico	A altura da sinalização nas salas de aula devem ser de 50mm em formato retangular. Devendo obter os seguintes tipos de placas sinalizadoras: saídas de emergência, escadas, saídas e número do pavimento.	ABNT NBR 13434-2: 2004: Sinalização de segurança contra incêndio e pânico	As sinalizações, preferencialmente, devem estar abaixo da camada de fumaça para a melhor visualização no momento do abandono da edificação.
Saídas de emergência	Adição de saídas de emergências com largura mínima de 1,20m.	ABNT NBR 9077: 2001: Saída de emergência em edifícios.	Por intermédio da simulação verificou-se que o atraso na evacuação se deu pelo motivo do auditório obter uma saída de emergência única. O que dificulta o abandono devido a grande quantidade de pessoas.

Fonte: A autora.

Tabela 9: Ações baseada em desempenho e prescrição – bloco IK.

AÇÕES BASEADO EM DESEMPENHO – BLOCO IK			
Item	Informações/ Ações (Baseado em desempenho)	Legislação/ norma/ código (Prescritivo)	Observações
Softwares utilizados	<i>PyroSim</i> : Simulador de dinâmicas de incêndio. <i>Pathfinder</i> : Simulador de abandono de edificação.		São efetuados os <i>downloads</i> dos dois <i>softwares</i> através do site da <i>Thunderhead Engineering</i> .
Tipologia da edificação	Institucional. Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE).		
Classificação de uso da ocupação	Tipo K - Escolar.	COSCIP/PE	
Caraterísticas da edificação	Edificação de ensino superior, constituído por salas de aula, secretarias, laboratórios e sala de vídeo conferência. 4 andares com 3 lances de escadas e elevador. Circulação com peitoril de 1.10m. Bloco IK.		
Sistema de detecção	Salas de aula/ laboratórios/ secretarias, localizados no forro desses ambientes. Neste caso, não devem ser inseridos em corredores e halls de acesso.	ABNT NBR 9441:1998: Execução de sistemas de detecção e alarme. COSCIP-PE.	De acordo com o Anexo A da normativa, para que o detector seja acionado faz-se necessário que ele seja atingido pela temperatura ou pela fumaça de maneira adequada para que o sistema eletrônico seja ativado.

Sistema de extinção do fogo - Extintores de incêndio	De acordo com os resultados da simulação os extintores devem estar localizados nos corredores, em todos os andares. Classificação de risco "baixa". Tipos A e C e podem ser inseridos 2 de categoria ABC.	ABNT NBR 12693: 1993: Sistemas de proteção por extintores de incêndio.	O ponto 5.2 da norma relata que os extintores devem estar em locais de fácil acesso, devendo estar localizados nas passagens, exceto escadas.
Sistema de extinção do fogo - Hidrantes e mangotinhos	Sistema de tipo 1 com vazão de 100L/min. Neste caso, podem ser utilizados os mangotinhos com uma torneira a 40mm do piso ou um sistema alternativo de hidrantes (vazão de 130L/min.). Devem estar localizados no hall próximo aos WCs e escada de acesso, em todos os andares.	ABNT NBR 13714: 2000: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio.	Segundo a secção 5.1 da norma os pontos de tomada de água devem estar localizados a não mais que 5 metros das portas externas ou acessos a áreas protegidas. Não podem estar localizados em escadas.
Sistema de extinção do fogo - Chuveiro automáticos (Sprinklers)	Ocupação de risco Leve. Utilização de chuveiro modelo antigo (cujo defletor é para cima, onde grande parte da água é dirigida para cima, contra o teto, e o restante para baixo).	ABNT NBR 10897: 2004: Proteção contra incêndio por chuveiro automático – procedimento.	A área coberta pelos chuveiros não devem exceder 18,6m ² (item 5.5.6.1.1).

Sistema de iluminação de emergência	Iluminação "pisca-pisca", ou equipamento simular abaixo do colchão de fumaça, a 1,70m. Sinalização com textos escritos ou símbolos gráficos nas saídas das salas de aula e acesso as escadas, localizadas acima das aberturas de exaustão de fumaça.	ABNT NBR 10898: 1999: Sistema de iluminação de emergência. COSCIP-PE	Item 4 da norma informa que devem ser levados em conta a penetração de fumaça nas vias de abandono. O item A.1.2 afirma que as luminárias devem ser instaladas abaixo do ponto baixo de fumaça possível a ser formada no ambiente.
Sinalização de segurança contra incêndio e pânico	A altura da sinalização nas salas de aula deve ser de 30 mm e nos corredores de 100 mm em formato retangular. Devem ter os seguintes tipos de placas sinalizadoras: saídas de emergência, escadas, saídas, e número do pavimento.	ABNT NBR 13434-2: 2004: Sinalização de segurança contra incêndio e pânico	Este item segue o mesmo princípio do sistema de iluminação, onde as sinalizações preferencialmente devem estar abaixo da camada de fumaça para a melhor visualização.
Saídas de emergência	Neste caso será necessária a adição de escada de emergência no prédio.	ABNT NBR 9077: 2001: Saída de emergência em edifícios.	Como verificado a partir da simulação realizada a partir do software <i>Pathfinder</i> , o momento do congestionamento do trânsito de pessoas foi na tentativa de evacuação pelas escadas, com uma grande aglomeração de pessoas, principalmente no terceiro pavimento.

Fonte: A autora.

As edificações estudadas (bloco A e bloco IK) têm como tipologia de uso institucional, especificamente de ensino superior, as quais possuem diferentes características, uma vez que, foram construídas em séculos diferentes e consequentemente com técnicas construtivas e características arquitetônicas dessemelhantes, já que o bloco A foi construído no século XIX e o bloco IK no período pós-moderno.

Não obstante, com base na indicação de ações efetuada para a inserção dos equipamentos de extinção e sinalização no projeto de Segurança Contra Incêndios e Pânico, fundamentada a partir da verificação de desempenho e prescrição, foram obtidas informações que serão transcritas em formato de diretrizes para auxiliar o profissional responsável pelo projeto de SCI em edificações institucionais de ensino superior, expostas na Tabela 10.

Tabela 10: Diretrizes para projeto SCI em instituições de ensino.

DIRETIZES PARA PROJETO DE SCI EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO		
Item	Diretriz	Orientações
Detectores de fumaça	Verificar os ambientes que obterão maior volume de fumaça e temperaturas elevadas.	Os detectores são acionados a partir na detecção de fumaça ou de temperatura. Logo, localizar esses equipamentos em ambientes ou circulações que não serão atingidas pelos possíveis efeitos do sinistro pode prejudicar o processo de identificação e alarme de incêndio, atrasando o processo de evacuação.
Sistema de extinção do fogo – Extintores de incêndio	Priorizar a localização dos extintores de incêndios nas circulações e corredores, exceto escadas.	Os extintores devem estar localizados em pontos de fácil acesso aos indivíduos presentes na edificação, logo, devem ser evitadas a locação desses equipamentos dentro das salas com dimensão menor que 100m².
Sistema de extinção do fogo - Hidrantes e mangotinhos	Localizar hidrantes ou mangotinhos nas circulações. Entretanto, este não deverá estar a mais que 5 m do acesso principal ou acessos a áreas protegidas.	Com a locação dos hidrantes ou mangotinhos localizados nas circulações é possível ter uma área de alcance que contemple a extinção do fogo na fachada do edifício e nas salas.

Sistema de extinção do fogo - Chuveiro automáticos (Sprinklers)	Priorizar a escolha do tipo de sprinkler que obtenha o defletor para cima, atenuando a temperatura próxima ao teto da edificação.	Com base nos estudos realizados verificou-se que a camada de fumaça carregando as maiores temperaturas atingidas no ambiente concentra-se a partir do teto da edificação, sendo este o ponto mais atingido pelo incêndio.
Sistema de iluminação de emergência - 1	Evitar a utilização de luminárias com baixa vedação.	A fumaça atinge as luminárias, adentrando. Isto enfraquece a luminosidade e possivelmente diminui a visualização por parte do usuário.
Sistema de iluminação de emergência - 2	A sinalização das saídas deve estar acima das aberturas de exaustão de fumaça, isto é, acima dos acessos de saídas das salas de aula, laboratórios, auditórios, salas administrativas e escadas.	A exaustão da fumaça pelos acessos possibilita as chances de visualização das sinalizações indicando a saída da edificação, e, portanto, auxiliando no processo de evacuação.
Sistema de iluminação de emergência - 3	Em edifícios que tenham como característica de uso janelas constantemente fechadas devem conter pintura luminescente nos rodapés.	Em casos em que a fumaça não possui uma saída para exaustão às pinturas luminescentes nos rodapés e escadas devem ser adotadas, já que a densidade da fumaça inviabiliza a visualização das saídas.
Sistema de iluminação de emergência - 4	Obter fontes de alimentação do sistema de emergência através de sistema centralizado, destinado a alimentar os equipamentos de detecção automática e de incêndio, os alarmes de incêndio e a sinalização das saídas de emergência.	Este sistema centralizado deverá obrigatoriamente que permita que a sua recarga seja realizada de maneira automática. Deverá contar também com um painel de controle com o propósito de avaliar o seu funcionamento.
Sinalização de segurança contra incêndio e pânico - 1	Inserir as seguintes placas sinalizadoras: saídas de emergência, escadas, saídas, e número do pavimento em formato retangular.	Mediante ao estudo realizado estas são as placas sinalizadoras que devem ser introduzidas.
Sinalização de segurança contra incêndio e pânico - 2	Consultar a altura das placas sinalizadoras na tabela 2 (altura mínima das letras em placas de sinalização em função da distância de leitura) do item 4.1.2.1 da ABNT NBR 13434-2: 2004: Sinalização de segurança contra incêndio e pânico.	A altura das placas deve ser de acordo com a distância do indivíduo em relação a visualização da sinalização. O que irá depender das dimensões da edificação.

Saídas de emergência -1	As saliências produzidas pelos pilares devem estar para dentro das salas, evitando estar nas circulações.	A presença de possíveis saliências impossibilita a circulação fluida dos indivíduos, podendo produzir atrasos na evacuação.
Saídas de emergência -2	Acessos principais, saídas de emergência e circulações não devem obter largura menor que 2,00m.	De acordo com os estudos prescritivos (a partir dos cálculos realizados com base na fórmula de largura das saídas, $N = P/C$) e de desempenho verificou-se que a largura mínima ideal para as saídas e circulações é de 2,00m.
Saídas de emergência -3	Inserir duas ou mais saídas de emergências nos edifícios educacionais.	Através das simulações verificou-se que apenas uma saída não é suficiente para garantir a fluidez da evacuação de pessoas, gerando um acúmulo de ocupantes, o que em uma ocorrência de incêndio poderá produzir pânico e aumentar o risco de pisoteamentos.

Fonte: A autora.

5 DISCUSSÕES

No decorrer desta pesquisa foi identificado que determinados pontos que devem ser salientados, sendo estes os seguintes:

- No processo da modelagem das edificações, simuladas através do software *PyroSim*, foi efetuado diversos testes em relação as suas configurações em busca das condições que propiciassem resultados o mais próxima da realidade. Em meio a isto, foi identificado que as paredes, tanto com os materiais inseridos ou configuradas como inertes, oferecem o mesmo resultado final, isto porque os tijolos cerâmicos possuem baixa inflamabilidade e condutibilidade térmica;
- Em relação às edificações simuladas, tem-se duas de uso institucional, porém com características completamente diferentes, implicando diretamente nos resultados. O bloco A, é constituída por pavimento térreo e primeiro andar, com janelas pequenas e que encontram-se fechadas constantemente, principalmente nos dias de eventos e palestras realizadas no auditório. Entretanto, o bloco IK é constituído por três pavimentos e com aberturas amplas, tanto nas circulações como em algumas salas de aula. Com isso, tem-se resultados diferentes, mesmo obtendo o mesmo período de tempo de simulação;
- No que tange as legislações e normativas, foi identificado que nem todos os estados Brasileiros possuem Instruções Técnicas e COSCIPs com as informações necessárias para a elaboração do projeto de SCIE baseado em prescrição. Comparando o Estado de São Paulo com Pernambuco têm-se diversas diferenças, mostrando, portanto, a ausência de algumas informações importantes nas legislações relacionadas à proteção e combate a incêndio de Pernambuco. Sendo assim, o que se tem como base as ABNTs/NBRs, no entanto, estas não possuem efeito de lei para o cumprimento dos seus requisitos;
- A partir da análise das normativas foi verificado que é necessário conhecimento técnico para a inserção das sinalizações e equipamentos, e, através das simulações realizadas com o uso do método baseado em desempenho, além das competências técnicas do profissional, torna-se possível verificar e provar os artifícios ideais a proteção e combate ao incêndio;

- No que diz respeito à análise baseada em desempenho e prescrição, foi desenvolvida a partir do estudo das legislações brasileiras e das simulações computacionais de desempenho, para a verificação se os itens a serem adicionados no projeto estariam em concordância em relação aos resultados. Portanto, a partir desta pesquisa é possível afirmar que, o método baseado em desempenho não anula o uso do método prescritivo, os dois podem ser utilizados juntos.
- A respeito das diretrizes projetuais para instituições de ensino superior, tem como objetivo auxiliar o profissional responsável pelo projeto de SCI em edificações institucionais de ensino superior de maneira geral.

CONCLUSÕES

Na presente pesquisa, optou-se por desenvolver simulações efetuadas primeiramente no software *PyroSim*, e posteriormente, no *Pathfinder*. Logo, observa-se a partir dos resultados, a relevância dos softwares apresentados com a finalidade de verificar o desempenho das edificações em casos de sinistros, e, partir dos dados adquiridos, recomendar os métodos ideais para a sinalização das saídas, dimensionamentos dos corredores, escadas, acessos e os sistemas de detecção e extinção do fogo.

Para tanto, foram realizados três estudos, o primeiro foi o estudo piloto efetuado no LSHT, onde, a partir dele foi adquirido o conhecimento a respeito do uso das ferramentas disponibilizadas nos softwares de simulação computacional. O segundo foram às simulações das dinâmicas de incêndio e de evacuação no bloco A da Escola politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE), e o último foram às simulações no bloco IK também pertencente à POLI.

Com os resultados da simulação no LSHT, concluiu-se que, dentro do tempo de simulação de 300s o maior índice de transferência térmica de calor foi emitido por meio da radiação, atingindo em seu ponto mais alto 140 kW, em relação à condução e à convecção que atingiram 70 e 115 kW, respectivamente. Já o resultado da simulação mostrou que, ao final dos 300s, o incêndio alcançou a fase de crescimento, sendo a etapa em que o fogo inicia o processo de disseminação para os outros ambientes. Também se constatou que todos os ambientes do LSHT foram dominados pela fumaça no tempo de 268 segundos enquanto o abandono total de ocupantes ocorreu em 36,5 segundos. Em relação à simulação no *PyroSim*, dentro do tempo citado, a fumaça inicia o processo de dissipação na sala dos pesquisadores, expandindo-se para os demais ambientes; as temperaturas atingidas ao término da simulação de evacuação no LSHT (36,5s) não atingem os níveis que possam vir a comprometer a sobrevivência dos docentes e discentes.

Na simulação do bloco A, realizada no *PyroSim*, foram testados os parâmetros dos materiais nas paredes da edificação no qual foi tirado a conclusão de que as paredes com a presença dos materiais e superfícies ou configuradas como inertes não interferem no resultado final da simulação de incêndio. O auditório, local que se deu o princípio de

incêndio foi tomado pela fumaça aos 162,4s, espalhando-se posteriormente para os demais ambientes no primeiro andar; a fumaça alastrou-se rapidamente, diminuindo a visualização devido as janelas fechadas, impossibilitando a exaustão do fumo, tendo como a única saída através dos cobogós da escada desativada, alcançando pelos motivos citados o nível 0 de visualização e com uma camada de fumaça de 2,90m de altura; a temperatura máxima atingida foi de 120°C, próxima ao forro, aos 900s permanecendo até o final dos 1800s de simulação; no abandono da edificação os ocupantes evacuaram o auditório aos 100s de simulação, cruzando as informações com a simulação de incêndio nota-se que os indivíduos conseguiram sair do local antes do crescimento da fumaça e da temperatura.

Já a respeito do bloco IK, também sendo uma edificação de uso institucional, todavia apresentou resultados diferentes em relação ao bloco A. A sala com janelas abertas, sistema de ventilação com ventiladores e circulação com abertura de 1,9m de altura possibilitou a exaustão e com isso a fumaça não se alastrou para os demais ambientes dentro do tempo de 1800s. O crescimento da temperatura se deu apenas na sala K-05 atingindo os 115°C, assim como as últimas duas simulações, esta obteve o tipo de transferência de calor com o maior índice foi por radiação, com 169 kW. Por fim, os 800 ocupantes evacuaram a edificação aos 534,3s, e, apesar do tempo não ofereceu perigo aos indivíduos já que a fumaça e a temperatura não se propagaram para os demais ambientes.

Com o conhecimento prescritivo e com o estudo das simulações, as ações baseadas em desempenho e prescrição foram desenvolvidas, para serem aplicadas diretamente nos blocos analisados, bloco A e bloco IK. A partir do conjunto de informações e testagem, diretrizes foram produzidas tendo como principal intuito auxiliar o projetista de SCIE a verificar a necessidade e quantidade da inserção da iluminação, sinalização, detecção, equipamentos e dimensionamentos dos acessos (portas, corredores e escadas), a serem aplicadas em edificações institucionais de ensino superior. A presente pesquisa será disponibilizada para a UPE utilizar em seus edifícios, podendo ser aplicado às diretrizes no projeto de Segurança Contra Incêndio tanto nas edificações existentes quanto nas futuras construções.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, M. M. **Comparação das medidas de segurança contra incêndio exigidas para uma edificação com boate e agência bancária segundo o CPI (2001) e o CSCIP (2015)**. 101 p. Monografia (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão. 2015.
- ALMEIDA, E. B. de; PEIXE, M. L. C. **A compartimentação no combate passivo a incêndio**. 2018. Monografia (Graduação). 28p. Universidade Paranaense – UNIPAR. Paranavaí. 2018.
- ALMENDRO, M. **Estabelecimentos hospitalares: Prevenção e treinamento para prevenir incêndios**. 2019. Disponível em: <https://saudebusiness.com/gestao/estabelecimentos-hospitalares-prevencao-e-treinamento-para-prevenir-incendios/>. Acesso em: 13 jun 2020.
- ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Segurança contra Incêndio em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde**. Série: Tecnologia em serviços de saúde. Brasília, 1ª Edição, p. 146. 2020.
- AMORIM, E. A “indústria 4.0” e a sustentabilidade do modelo de financiamento do Regime Geral da Segurança Social. **Cadernos de Directo Atual**. Porto, v. Extraordinário, n. 5, p. 243-254. 2017.
- ANDERSON, E.; WRIGHTSON, S. SEALOVER, N. Smoke control design considerations: learn from this overview of NFPA 92: Standard for Smoke Control Systems, and how fire protection engineers should apply it in design. (Codes & Standards). **Consulting Specifying Engineer**. Downers Grove, v. 53, n. 4, p. 1-18. 2016.
- ANDRADE, T. M. de. **Compartimentação de edifícios para segurança contra incêndio**. 2018. 317p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2018.
- ASSOSSIÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.276**. Brigada de incêndios – requisitos. Rio de Janeiro. 37p. 2007.
- ASSOSSIÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.651**. Proteção contra incêndios em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) – requisitos. Rio de Janeiro. 28p. 2019.
- ASSOSSIÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077**. Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro. 36 p. 2001.
- BASSET, D. T. **Análisis del comportamiento del fenómeno backdraft en recintos confinados**. 86p. Monografia (Graduação). 2017. Escuela técnica superior ingenieros industriales València, Universitat Politècnica de València. 2017.

BELLAS, R.; GONZÁLEZ-GIL A. Assessment of the fire dynamics simulator for modeling fire suppression in engine rooms of ships with low-pressure water mist. **Fire Technology**. New York, v. 56, n.3, p. 1315 - 1352. 2019.

BENKORICHI, S. 2022. Disponível em: <https://www.sbenkorichi.com/calculators/fds-mesh>. Acesso em: 04 abr 2022.

BORGES, G. de O. **Simulação de incêndio utilizando o software fire dynamics simulator**. 63 p. Monografia (Graduação). Centro Universitário de Brasília – Uniceub. Brasília. 2018.

BORNHAUSE, K. **Verificação da segurança contra incêndio em uma escola do ensino fundamental no município de Colombo-PR**. 77p. Monografia (Especialização). Universidade tecnológica federal do Paraná. Departamento acadêmico de construção civil. Especialização em engenharia de segurança do trabalho. 2016.

BOROWSKI, M.; JASZCZUR, M.; KARCH, M.; BURDZY, T. Control of smoke flow using a jet-fan in an underground car park. **E3S Web of Conferences**. XII International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer (ICCHMT 2019). Rome, v. 128, p. 1 – 5. 2019.

BABRAUSKAS, V.; GRAYSON, S. J. **Heat Release in Fires**. Edition illustrated reprint. Publisher Taylor & Francis. 1992.

BRAGA, G. C.; LISBOA NETO, J. P.; SALAZAR, H. de F. A temperatura e fluxo de calor em uma situação de incêndio e as consequências para os bombeiros. Brasília. **Revista FLAMMAE**. Recife, v. 2, n.4, p. 28. 2016.

BRAND, W.; MARZLUFT, A. Protective measures: guidelines and testing of fire protection systems for cable stays are needed. **Bridge Design and Engineering**. n. 81, p. 1 – 5. 2015.

BRASIL. Assembleia Legislativa do Estado de Pernambuco. **DECRETO-LEI Nº 219, DE 9 DE MARÇO DE 1970**. 1970. Disponível em: <http://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=3660>. Acesso em: 02 jun 2020.

BRASIL. **DECRETO Nº 897, DE 21 DE SETEMBRO DE 1976. DECRETA: CÓDIGO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO** 1976. Disponível em: http://www.cbmerj.rj.gov.br/pdfs/from_dgst/COSCIP.pdf. Acesso em: 02 jun 2020.

BRÍGITTE, G. T. N.; RUSCHEL, R. C. Modelo de informação da construção para o projeto baseado em desempenho: caracterização e processo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 9-26. 2016.

BUSATTO, R. C. Otimização multi-objeto de planejamento estratégico, gestão e prevenção contra incêndios e Curitiba-PR. **Revista de Ciências policiais da APMG**. São José dos Pinhais, v. 1, n. 1, p. 220-230. 2017.

CABLÉ, A.; CHETEHOUNA, K.; GASCOIN, N.; SETTAR, A. VAN HERPE K.; KADOCHÉ, M. Experimental and numerical study of sprinkler fire protection systems: Effect of initial pressure on system performance. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**. France, v. 60, p. 76 – 86. 2019.

CAJATY, G. B. B. **Dinâmica do incêndio e Simulação computacional**. Rede de especialistas em SCI. 2021.

CAMPBELL, R. **Structure Fires in Health Care Facilities**. 144p. NFPA - National Fire Protection Association, Research. Quincy. 2017.

CAO, Y. Fire protection design of large-scale cold storehouse in modern logistics based on risk analysis and countermeasure. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**. The 6th International Conference on Environmental Science and Civil Engineering. Guangxi, v. 455, p. 1 – 5. 2020.

CBBC, Corpo de Bombeiros de Balneário Camboriú. Prevenção de incêndios de primeiros socorros. Da classificação de ocupação das edificações. 2021. Disponível em: <http://www.cbcb.com.br/exibe.asp?id=2>. Acesso em: 28 set 2021.

CBMP, Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco. **Legislações Técnicas**. 2013. Disponível em: <http://www.bombeiros.pe.gov.br/web/cbmpe/coscip>. Acesso em: 20 abr 2020.

CBMPE, Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco. Sistema de acompanhamento do contribuinte. **Análise e aprovação de projeto de segurança contra incêndio e pânico**. 2016. Disponível em: <http://www.bombeiros.pe.gov.br/web/cbmpe/projeto-contraincendio>. Acesso em: 15 abr 2020.

CHEN, Q.; CHEN, T. B. Y.; YUEN, A. C. Y.; WANG, C.; CHAN, Q. N.; YEOH, G. H. Investigation of door width towards flame tilting behaviours and combustion species in compartment fire scenarios using large eddy simulation. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. Sidney, v. 150, n. 119373, p. 1 – 7. 2020.

CORRÊA, C.; SILVA, J. J. do R.; OLIVEIRA, T. A. de C. P. de O.; BRAGA, G. C. Mapeamento de incêndios em edificações: um estudo de caso na cidade do Recife. **Revista de engenharia civil IMED**. Rio Grande do Sul, v. 2, n. 3, p. 15-34. 2015.

CORREIA, A. G. F. A. **Desenvolvimento e implementação numérica de um modelo de análise de risco de incêndio urbano** – Mariee edifícios administrativos, escolares, habitacionais, hospitalares e hoteleiros. 2014. 336p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2014.

COSCIP-PE. **Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Estado de Pernambuco**. Recife, 109 p. 2017.

COSTA NETO, M. L. da. **Um estudo do fenômeno explosão e das ondas de choque utilizando a fluidodinâmica computacional**. 2015. 121p. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. 2015.

COSTA, S. S. S. de A. **Análise de um sistema de desenfumagem para a atenuação do risco de incêndio**. 2018. 101p. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. 2018.

CRESPO, C. C.; RUSCHEL, R. C. Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. Porto Alegre. **Anais [...]. Campinas: Universidade de Campinas. 9p.** 2007.

CUNHA, L. J. B. de F. **O desempenho da compartimentação horizontal seletiva na promoção da segurança contra incêndio em edificações**. 2016. 239 p. Tese (Doutorado). Universidade federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2016.

DRYSDALE, D. An introduction fire dynamics. Third Edition. Wiley. 2011.

FIOCRUZ. **Incêndio e fogo**. 2016. Disponível em:
<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/virtual%20tour/hipertextos/up2/incendio.htm>. Acesso em: 16 abr 2010.

FIGUEIREDO, P. J. F. **Segurança contra Incêndios em Edifícios de Centros Urbanos Antigos – Antigo Orfeão e o Centro Histórico de Viseu**. Dissertação (Mestrado). 173p. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. 2018.

FLORES, B. C.; ORNELAS, É. A.; DIAS, L. E. **Fundamentos de combate a incêndios. Manual de bombeiros**. Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Goiânia-GO. 1ª Edição: 2016, 150p.

FRANCO, G. M. L.; LENTE, S. M.; CUSTÓDIO, E. de O.; SANTOS, M. P. dos. Incêndio e pânico no Brasil: um estudo sistemático quanto ao papel do engenheiro na garantia das condições de segurança e nas medidas contra incêndio. **Revista científica da AJES**. Juína, v. 8. n. 17. p. 43-55. 2019.

GOMES, I. da S. **Análise de evacuação em situação de incêndio utilizando o software pathfinder**. Monografia (Graduação). 56p. Centro Universitário de Brasília. 2019.

GOMES, T. **Projeto de prevenção e combate à incêndio**. 2015. 94p. Monografia (Graduação). Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2014.

GULANUR, A., TIAN, C.; XIE, Q.; SHAWKAT, H. M.; LIU, D. Simulation of Emergency Evacuation in a metro-rail transit station. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. 5th International Conference on Hydraulic and Civil Engineering, ICHCE 2019. Hohai, v. 304, n. 3, p. 1 – 6. 2019.

HONEYWELL. Soluciones de detección avanzada de humo y seguridad en el sector salud. Enfoque en hospitales. 38p. Honeywell International. 2019.

HU, G. Research on the Fire of High-rise Residential Building Based on PyroSim Numerical Simulation. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. China, v. 455, n. 1, p. 1-6. 2020.

ISB, Instituto Sprinkler Brasil. **Estatísticas**. 2021. Disponível em <https://sprinklerbrasil.org.br/instituto-sprinkler-brasil/estatisticas/>. Acesso em: 08 mar 2021.

JONES, R. T.; ERWEE, M. W.; **Simulation of ferro-alloy smelting in DC arc furnaces using PyroSim and FactSage. CALPHAD: Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry**. Randburg, v. 55, p. 20 – 15. 2016.

KHAN, M. A.; CASHELL, K. A.; USMANI, A. S. Analysis of restrained composite perforated beams during fire using a hybrid simulation approach. **Journal of Structural Engineering (United States)**. London, v. 146, n. 3, p. 04020002-1 - 04020002-15. 2020.

KIM, H.; HAN, J.; HAN, S. Analysis of evacuation simulation considering crowd density and the effect of a fallen person. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**. Daejeon, v. 10, n. 12, p. 4869 – 4879. 2019.

KIRYU, T. M. **Avaliação da temperatura média das camadas de gases em um compartimento em situação de incêndio: comparação de dados experimentais, resultados numéricos e de modelos analíticos e empíricos**. 25p. 2017. Monografia (Graduação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Civil, Porto Alegre, 2017.

KOFFEL, W. E. CASE STUDY: Health care facility design and being code-compliant. (BUILDING SOLUTIONS FIRE PROTECTION SYSTEMS). **Consulting Specifying Engineer**. Downers Grove, Illinois, v. 56, n. 1, p. 1 -2. 2019.

KOTSOVINOS, P.; ATALIOTI, A.; MCSWINEY, N.; LUGARESI, F.; REIN, G.; SADOWKI, A. J. Analysis of the thermomechanical response of structural cables subject to fire. **Fire Technology**. London, v. 56, n. 2, p. 515 – 543. 2020.

LEI Nº 13.425. **Diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público**. 2017.

LATHROP, J. **NFPA (Nacional Fire Protection Association) 99 - 2012: Application to Existing Buildings**. 131p. NFPA Conference & Expo. 2019.

LETTMANN, A.; SESSELMAN, J.; KAWOHL, A. Brandschutztechnische Risikobewertung von Onshore-Windenergieanlagen. **Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG**. Berlin, v. 87, n. 1, p. 10 – 16. 2018.

LI, J. X.; YAO, K.; DAI, J. Y.; SONG, Y. L. Research on influence and prediction modelo f urban traffic link tunnel curvatures on fire temperature based on PyroSim - - SPSS multiple refression analysis. China. 2nd International Worksop on Renewable Energy and Delopment. **Anais[...]** China. 10p. 2018.

LIMA, C. S.; FONSECA, V. A segurança contra incêndio nas edificações verticalizadas em Aracaju - SE. Aracajú. 16ª semana de pesquisa da Universidade de Tiradentes. **Anais [...]**. Tiradentes. 1p. 2014.

LI, M.; ZHU, S.; WANG, J.; ZHOU, Z. Research on Fire Safety Evacuation in a University Library in Nanjing. **8th International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering, ICFSFPE**. Nanjing, v. 221, n. 8, p. 372-378. 2017.

LONG, X.; ZHANG, X.; LOU, B. Numerical simulation of dormitory building fire and personnel escape based on PyroSim and Pathfinder. **Journal of the Chinese Institute of Engineers**. China, v. 40, n.3, p. 257-266.

NFPA, Nacional Fire Protection Association. **Fire protection handbook**. 3464p. Quincy, Twentieth Edition, v. I and II. 2013

NFPA, JLA. Nacional Fire Protection Association, Journal LatinoAmericano. **NFPA na América Latina: NFPA em português**. 2020. Disponível em: <https://www.nfpajla.org/pt/nfpa-em-america-latina/nfpa-em-portugues#quem-somos>. Acesso em: 02 jun 2020.

MACHADO, E. T. S. **Segurança contra incêndio no ambiente hospitalar: estudo de caso no Hospital Universitário de Brasília – DF**. 50p. 2018. Monografia (Especialização). Centro Universitário de Brasília Instituto CEUB de Pesquisa e Desenvolvimento – ICPD, Brasília. 2018.

MATOS, A. C. M. de. Estudo da evacuação em SCIE de um edifício de grande altura, análise prescritiva / de desempenho. Dissertação (Mestrado). 60p. Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto. 2017.

MELHADO, S.; PINTO, A. C. Benefícios e Desafios da Utilização do BIM para Extração de Quantitativos. SIBRAGEC ELAGEC. São Paulo. **Anais [...]. São Paulo: Universidade de São Paulo**. 8p. 2015.

MINERVINO, B. **Análise de risco de incêndio**. 2020. Disponível em: <https://analisederiscodeincendio.com.br/metodo-gretener/>. Acesso em: 19 jun 2020.

MIRANDA JR., E. J. P. de. **Avaliação do sistema de combate a incêndio por extintores: estudo em uma empresa de produtos de limpeza em São Luís MA**. Research Gate. 22p. 2017.

NOGUEIRA, F. Teoria do fogo – pré-requisitos SCI. 2017. Disponível em: <https://www.gcbrazil.com.br/teoria-do-fogo/>. Acesso em: 18 jun 2020.

NORMA REGULAMENTADORA 23. NR 23. **Proteção contra incêndios**. 2018.

OLIVEIRA, M. de. **Estudo sobre incêndios de processo rápido**. 2005. 88p. Monografia (Especialização). Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.

PEREIRA FILHO, S. C. **Análise de suas propostas de métodos – propagação cilíndrica e plana – para a determinação da capacidade de isolamento térmico de mantas de EVA.** 58p. Monografia (Graduação). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Alamas. 2016.

POLI/USP. **Legislação brasileira surgiu após incêndios de grandes proporções em SP.** 2010. www.poli.usp.br/noticias/426-legislacao-brasileira-surgiu-apos-incendios-de-grandes-proporcoes-em-sp.html. Acesso em: 19 jun 2020.

PRASETYA, A. Designing for Fire Safety and Ventilation in Warm Humid Climate, Case Study: Library Building of Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Indonesia. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.** Indonésia, v. 436, n. 1, p. 1 – 8. 2020.

QUINTIERE, J. G. **Principles of Fire Behavior.** Second edition. CRC Press, Taylor Francis Group. 2016.

RAHMANI, A.; SALEM, M. Simulation of fire in super high-rise hospitals using fire dynamics simulator (fds). **Electronic Journal of General Medicine.** Tehran, v. 17, n. 3, p. 1 – 5. 2020.

REBOLEDO, A.; SILVA, P. R. V.; CORDEIRO, T. A. **Análise comportamental das cargas de incêndio em estruturas.** 110p. Monografia (Graduação). Universidade Anhembí Morumbi. São Paulo. 2010.

REIS, M. do R. F. **Estudo da evacuação em caso de incêndio de edifícios que recebem público:** caso do shopping center Fórum Coimbra. 219p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. 2016.

RIOS, F. da C. M. **Um estudo das propriedades mecânicas do concreto submetido a elevadas temperaturas para dar suporte ao gerenciamento dos riscos de incêndios em edificações.** 2015. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. 2018.

ROMANO, G.; ROMANO, A. Fire investigation in an italian waste treatment plant: lessons learned and future development. **Safety and Security Engineering VIII.** Ancora, v. 189, n. 8, p. 113-119. 2019.

ROMERO, M. L.; ALBERO, V.; ESPINÓS, A.; HOSPITALER, A. Fire design of slim-floor beams. **Ernst & sohn verlag für architektur und technische wissenschaften gmbh & co. kg.** Berlin, v. 88, n. 7, p. 665 – 674. 2019.

RONCHI, E.; ALVEAR, D.; BERLOCO, N.; CAPOTE, J.; COLONNAL, P.; CUESTA, A. Human behavior in road tunnel fires: comparison between egress models (FDS+Evac, STEPS, Pathfinder). Nottingham, United Kingdom. Interscience Communications, International conference on Fire Science and Engineering Interflam. **Anais [...].** Bari and Santander. 12p. 2010.

- ROTONDARO, I. F. **ESTUDO DE CASO:** Projeto de prevenção e combate ao incêndio e pânico do BH supermercados, em Três Pontas. 2018. 113p. Monografia (Graduação). Centro universitário do sul de Minas UNIS/MG. 2018.
- SÁ, R. T. Simulação numérica de incêndios em edificações. 178p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Centro de tecnologia e neociências, Departamento de engenharia civil, Programa de pós-graduação em engenharia civil. 2018.
- SANTOS, A. de P. L.; WITICOVSKI, L. C.; GARCIA, L. E. M.; SCHEER, S.; CASAROTTO FILHO, N. A Utilização Do Bim Em Projetos De Construção Civil. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**, Santa Catarina, v. 1, n. 2, p. 24-42. 2009.
- SANTOS, B.P.; ALBERTO, A.; LIMA. T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F.M. B. Indústria 4.0: Desafios E Oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**. v. 4, n. 1, p. 111-124. 2018.
- SEVEN. **O que é o NIST cybersecurity framework**. 2018. Disponível em: <https://sevenit.com.br/nyst-cybersecurity-framework/>. Acesso em: 14 de fev. de 2022.
- SHAO, J.; YEBOAH, S. K.; ZHU, T.; LI, Y. Simulation study on the spreading of fire-induced smoke in natural-ventilated double-skin facade building. **Environmental Science and Engineering**. Proceedings of the 11th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC 2019), p. 1011-1018. 2019.
- SHINO, G. K.; HILLEBRAND, C. M. Complex fire alarm system design and commissioning: Fire protection engineers should determine the level of complexity needed in a fire alarm system design based on the building size/type and design a system that meets code requirements accordingly. **Consulting Specifying Engineer**. Downers Grove, v. 55, n. 11, p. 1 – 6. 2018.
- SILVA, D. A.; SIMÃO, A. dos S.; MENEZES, C. A. G. Impactos da Indústria 4.0 na Construção Civil brasileira. XV SIMPÓSIO DE **EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA**. 2018. **Ponta Grossa. Anais [...]. Ponta Grossa:** Universidade tecnológica federal do paraná, 2018a. p. 45.
- SILVA, E. C. M da. **O projeto arquitetônico e a antecipação do projeto de segurança contra incêndio:** interferência mútua, interação necessária. 221p. Dissertação (Mestrado). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2015.
- SILVA, N. B. da S.; ALMEIDA, S. J. de C. Simulação computacional de incêndios em edificações. Campinas. XXVI Congresso de iniciação científica Unicamp. **Anais [...].** Campinas. 1p. 2018.
- SILVA, T. M. O. **Segurança contra incêndio em hospitais**. 2010.162p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2010.

SILVA, V. P. e; COELHO FILHO, H. da S. Índice de segurança contra incêndio para edificações. **Revista Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 103-121. 2007.

SOARES, T. R. L.; FARAGE, M. C. R.; RENAULT, N. Análise termo-hídrica do concreto utilizando o Castem. Juiz de Fora. CILAMCE. **Anais [...]**. Brasília. 2016

SOUZA, K. B. de O. **Compartimentação de edificações em caso de incêndio: uma análise computacional de legislações**. 2019. 85p. Monografia (Graduação). Universidade do Vale do Taquari Curso de Engenharia Civil. 2019.

SOUZA, S. P. M. de; BACK, N. **Risco de incêndio – estudo comparativo entre o método de Max Gretener e a NSCI/94 – CBM/SC**. 18p. Artigo (Graduação). 2011. UNESC - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma. 2011.

SWENSON, D. **Thunderhead Engineering - Continuando o Rand Hall Ethos**. 2014. Disponível em: <https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/37958?show=full>. Acesso em: 10 jun. 2020.

THUNDERHEAD. **Pathfinder tutorials fundamentals**. 2019. Disponível em: <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/tutorials/>. Acesso em: 09 jun. 2020.

TORERO, J. L. Fire Safety of Historical Buildings: Principles and Methodological Approach. **International Journal of Architectural Heritage**. London, v. 13, n. 7, p. 926 – 940. 2019.

TORERO, J. L. Prescrição ou Performance: Quando? Porquê? Como? Quem? **Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural**, Passo Fundo, v. 8, n. 1, p. 4-21. 2011.

VALASEK, L. The use of PyroSim graphical user interface for FDS simulation of a cinema fire. **International Journal of Mathematics and Computers in Simulation**. Eslováquia, v. 7, n. 3, p. 258-267. 2013.

VASCONCELOS, M. A.; PEDRODO, J. L.; COELHO, N. de A. Estudo de diferenças finitas para a equação do calor em barragens de concreto. Estudo de diferenças finitas para a equação do calor em barragens de concreto. Brasília. XXXVI Ibero-latin american congress on computational methods in engineering. **Anais [...]**. Rio de Janeiro. 2015.

VENÂNCIO, M. J. L. **Avaliação da Implementação de BIM – Building Information Modeling em Portugal**. Dissertação (Mestrado). Universidade do Porto. 2015.

VENEZIA, A. P. P. G. **Avaliação de risco de incêndio para edificação hospitalar de grande porte – uma proposta de método qualitativo para análise de projeto**. 384 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo. 2011.

WETZEL, T.; LANGE, J.; TICHELMANN, K. Zur Bemessung von Stahlstützen im Brandfall. **Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG**. Berlin, v. 88, n. 12, p. 1136 – 1143. 2019.

XIE, Q.; XIAO, J.; GARDONI, P.; HU, K. Probabilistic Analysis of Building Fire Severity Based on Fire Load Density Models. **Fire Technology**. Shanghai, v. 55, n. 4, p. 1349 – 1375. 2019.

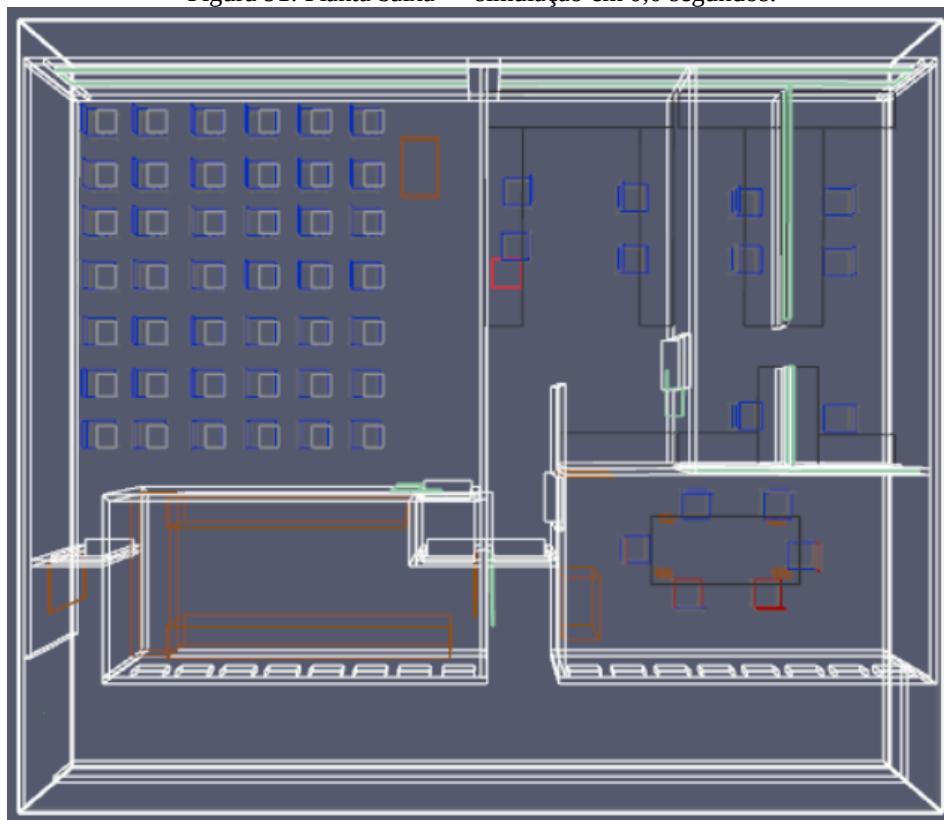
XIN, Y.; BURCHESKEY, K.; VRIES, J. de; MAGISTRALE, H.; ZHOU, X.; D'ANIELLO, S. Smart sprinkler protection for highly challenging fires – part 1: system desing and fuction evaluation. **Fire Technology**. New York, v. 53, n.3, p. 1847 - 1884. 2017.

ZABEU, L. J. L. **Comportamento de estruturas de concreto de edifícios industriais compartimentados submetidos a situação de incêndio**. 154 p. Dissertação (Mestrado) Universidade estadual de campinas faculdade de engenharia civil, arquitetura e urbanismo. Campinas. 2011.

ZHANG, Q.; QI, H.; LUO, X. Fire protection design in aircraft cabin based on fire evacuation safety index. **Beijing Hangkong Hangtian Daxue Xuebao/Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics**. Tianjin, v. 41, n. 7, 1165-1170. 2015.

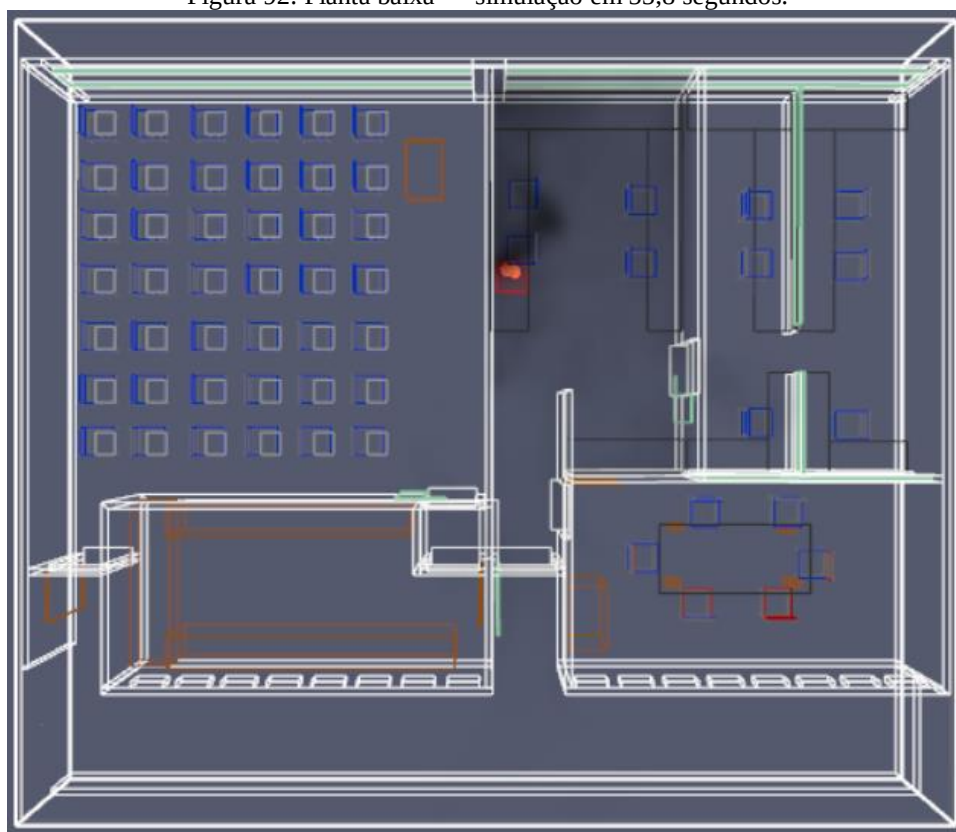
APÊNDICE A – Modelo LSHT (PyroSim)

Figura 91: Planta baixa — simulação em 0,0 segundos.



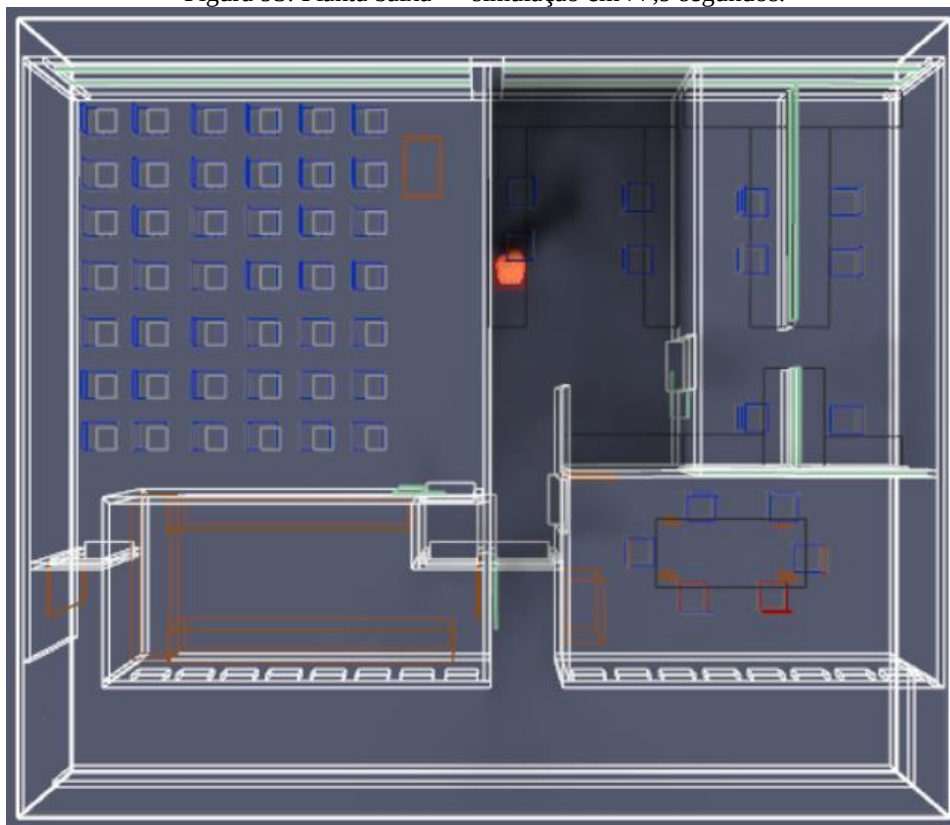
Fonte: A autora.

Figura 92: Planta baixa — simulação em 55,8 segundos.



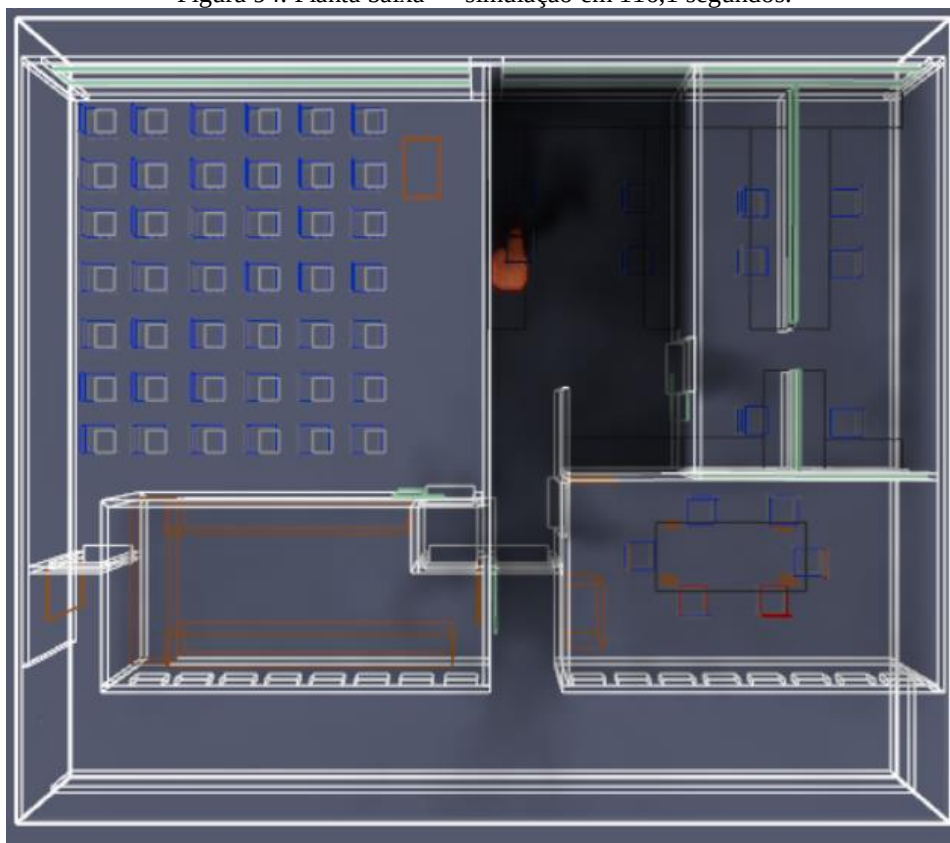
Fonte: A autora.

Figura 93: Planta baixa — simulação em 77,9 segundos.



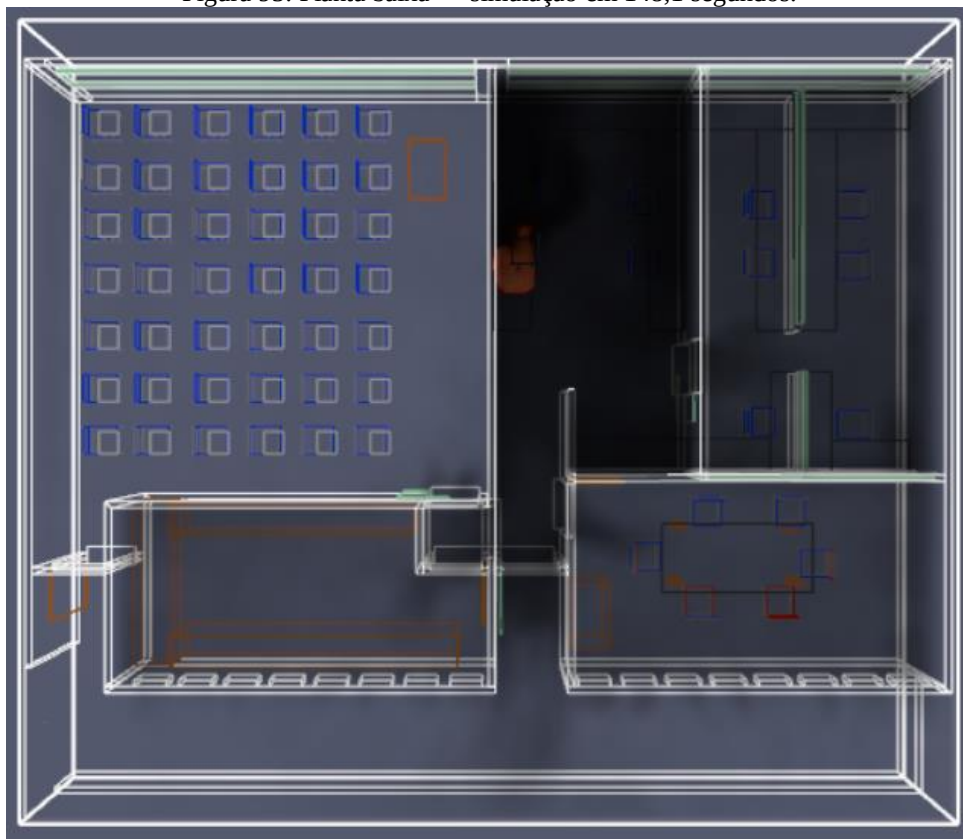
Fonte: A autora.

Figura 94: Planta baixa — simulação em 116,1 segundos.



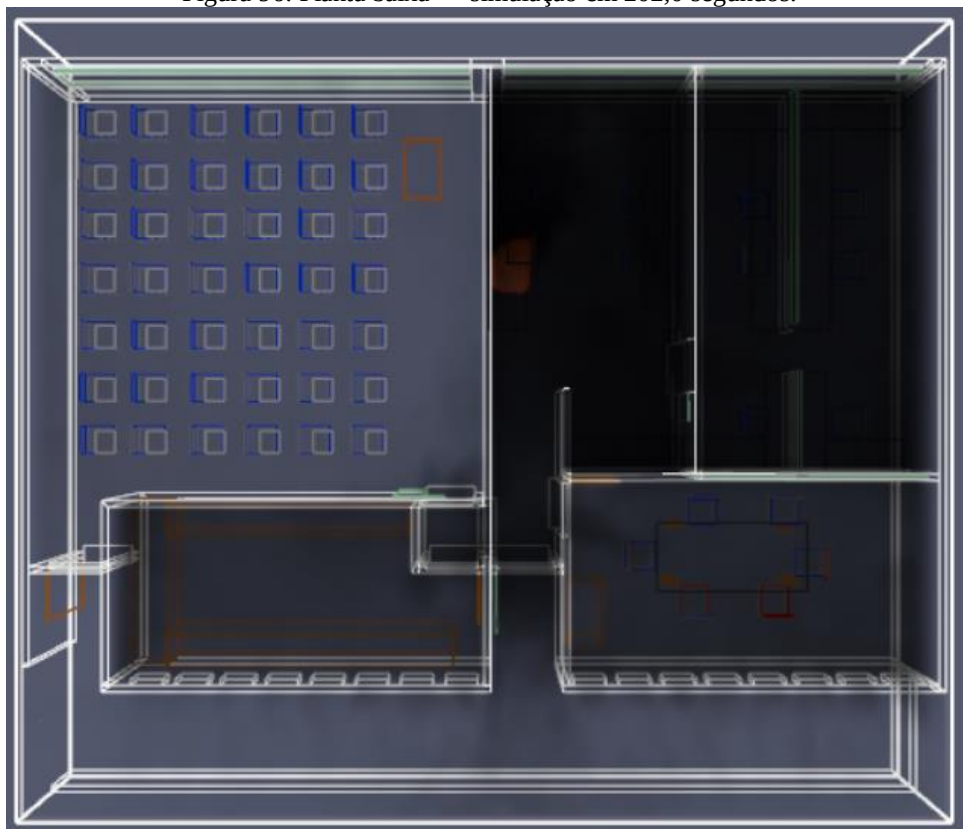
Fonte: A autora.

Figura 95: Planta baixa — simulação em 148,1 segundos.



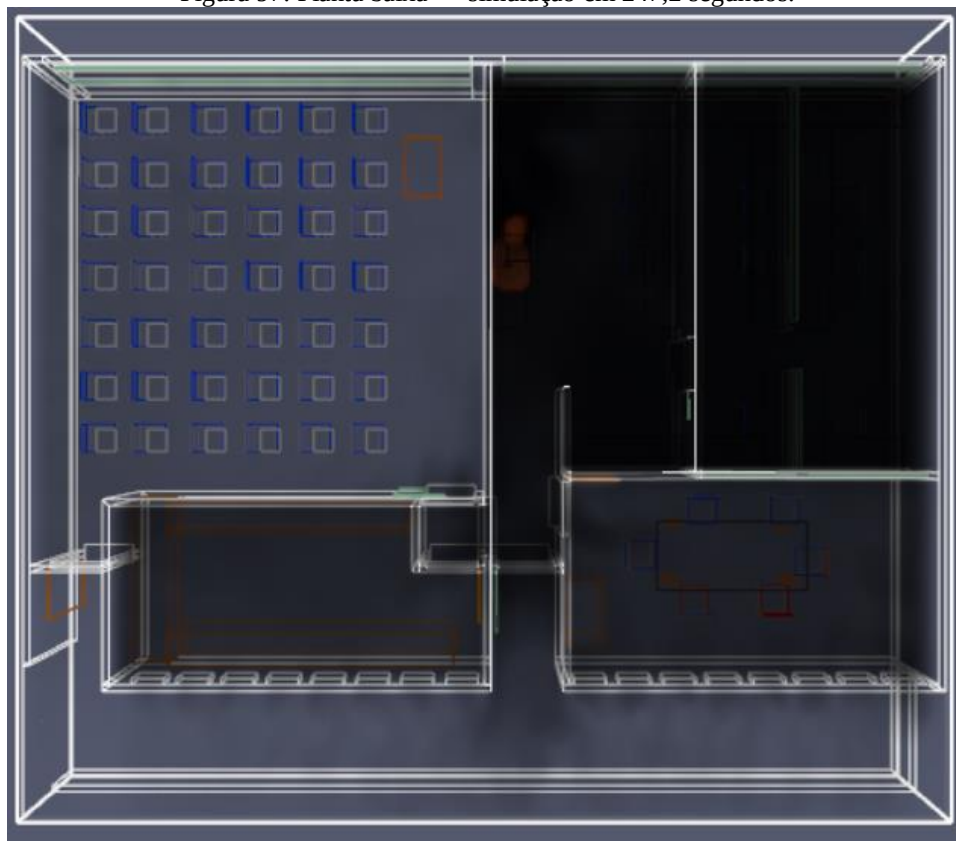
Fonte: A autora.

Figura 96: Planta baixa — simulação em 202,0 segundos.



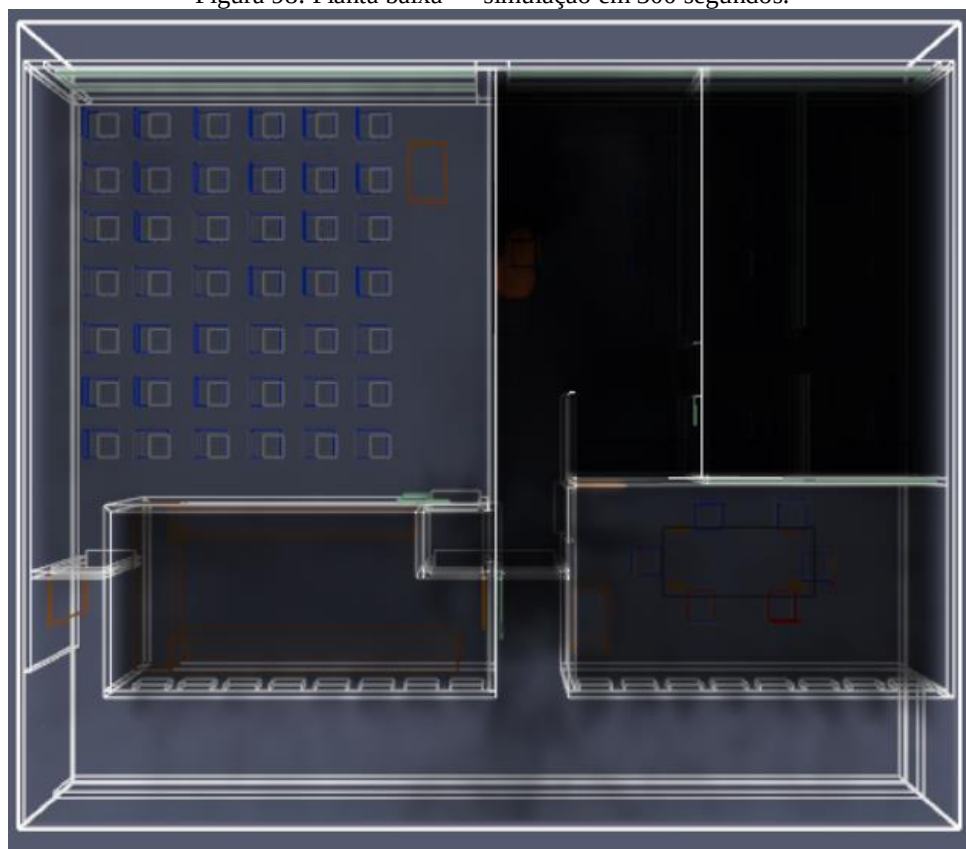
Fonte: A autora.

Figura 97: Planta baixa — simulação em 247,2 segundos.



Fonte: A autora.

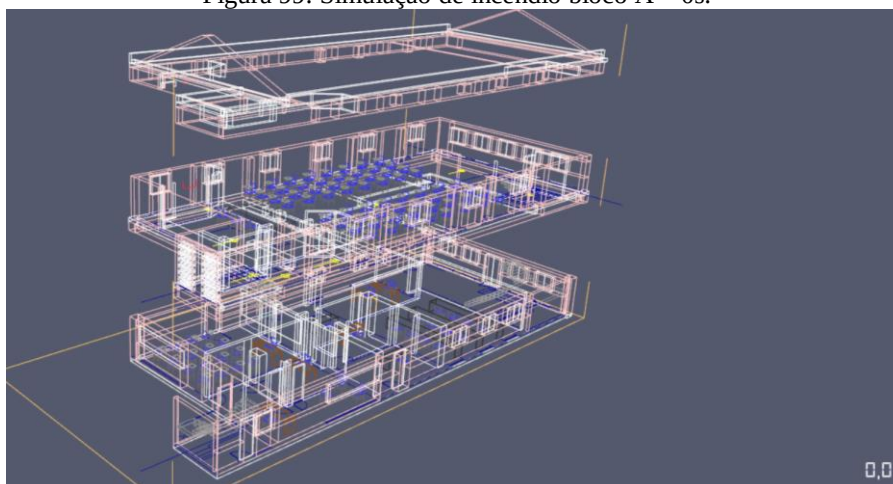
Figura 98: Planta baixa — simulação em 300 segundos.



Fonte: A autora.

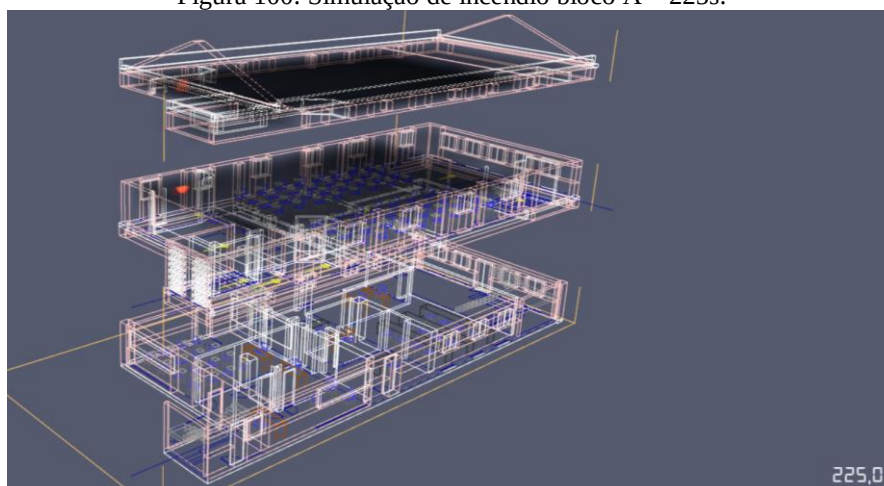
APÊNDICE B – Modelo Bloco A (PyroSim)

Figura 99: Simulação de incêndio bloco A – 0s.



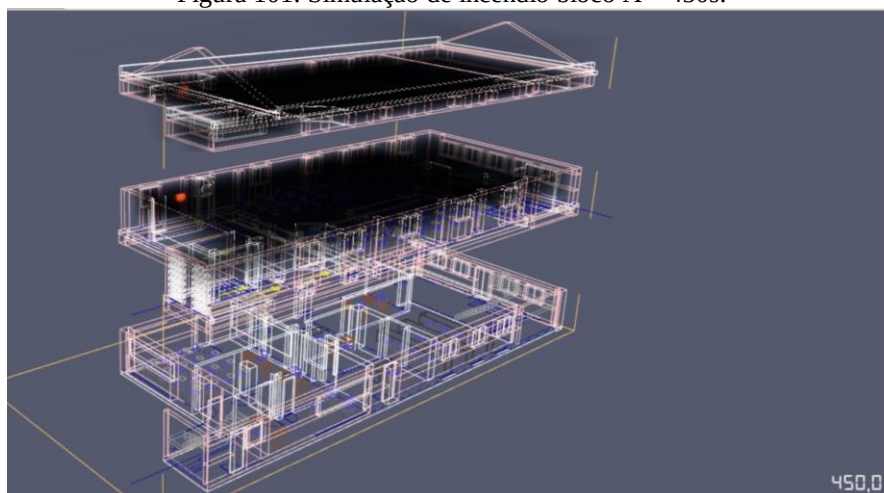
Fonte: A autora.

Figura 100: Simulação de incêndio bloco A – 225s.



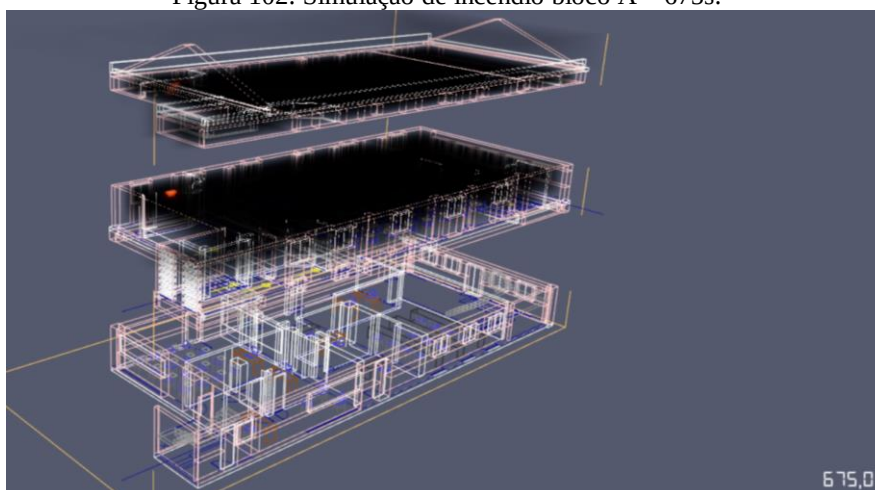
Fonte: A autora.

Figura 101: Simulação de incêndio bloco A – 450s.



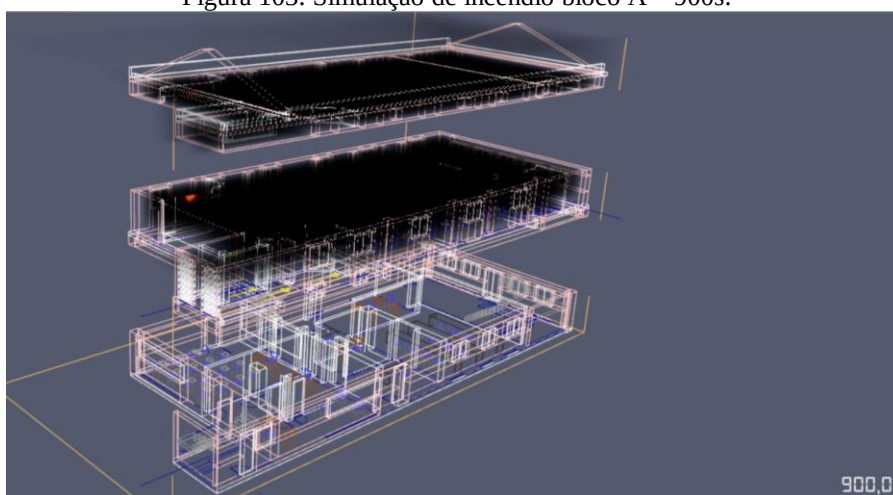
Fonte: A autora.

Figura 102: Simulação de incêndio bloco A – 675s.



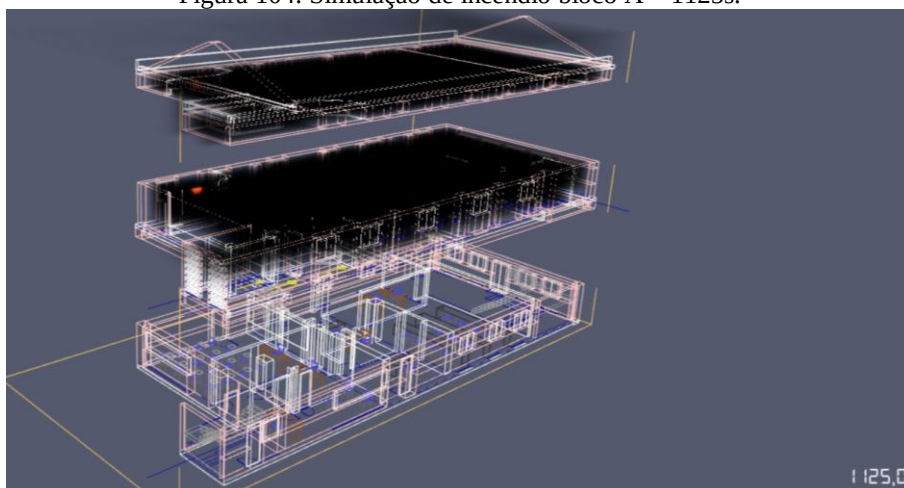
Fonte: A autora.

Figura 103: Simulação de incêndio bloco A – 900s.



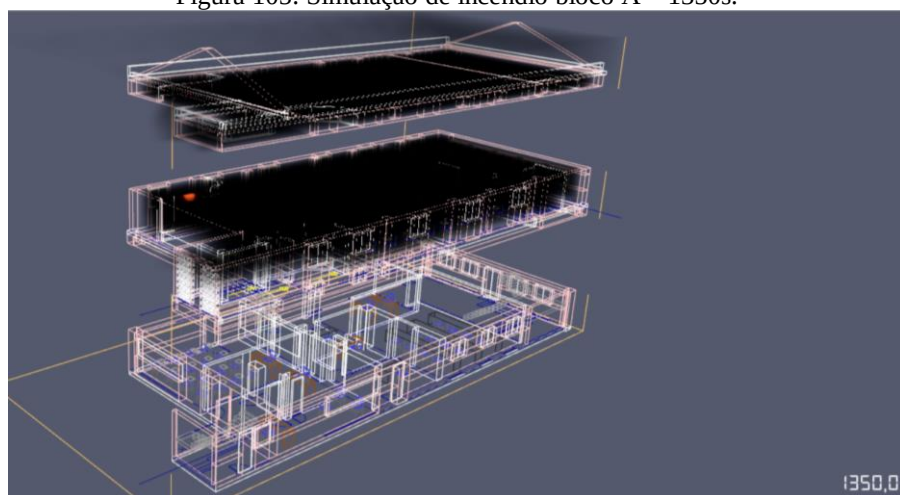
Fonte: A autora.

Figura 104: Simulação de incêndio bloco A – 1125s.



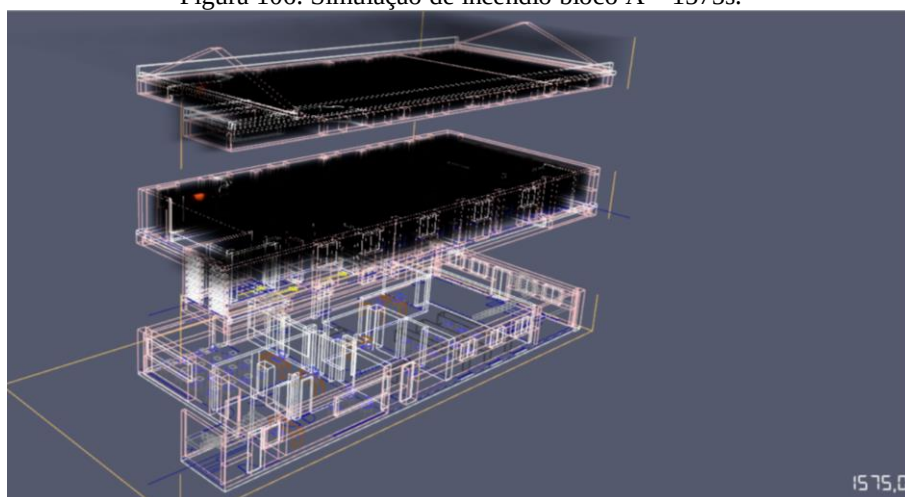
Fonte: A autora.

Figura 105: Simulação de incêndio bloco A – 1350s.



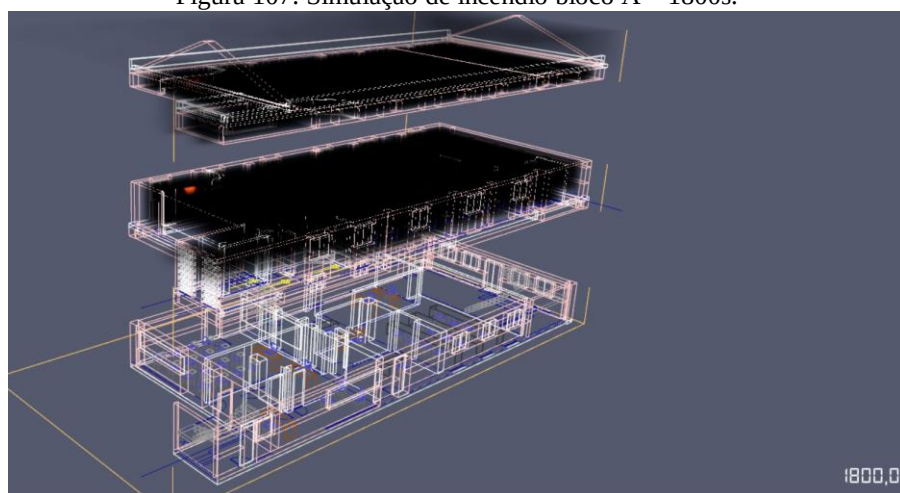
Fonte: A autora.

Figura 106: Simulação de incêndio bloco A – 1575s.



Fonte: A autora.

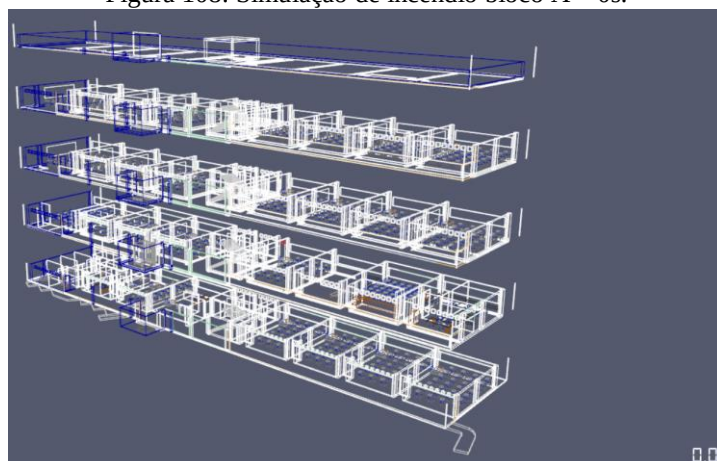
Figura 107: Simulação de incêndio bloco A – 1800s.



Fonte: A autora.

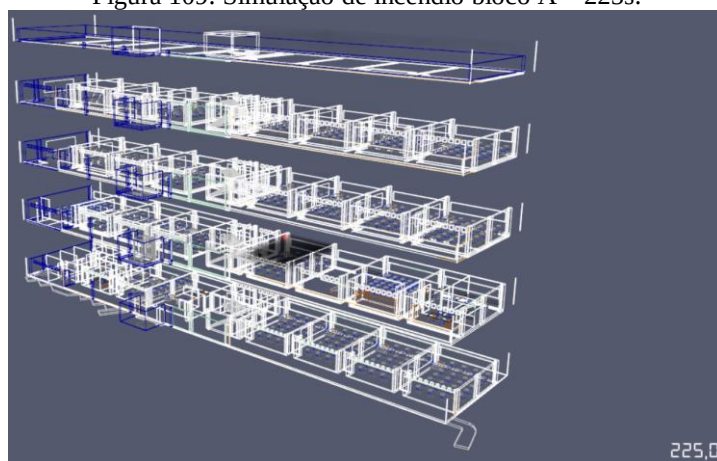
APÊNDICE C – Modelo Bloco IK (PyroSim)

Figura 108: Simulação de incêndio bloco A – 0s.



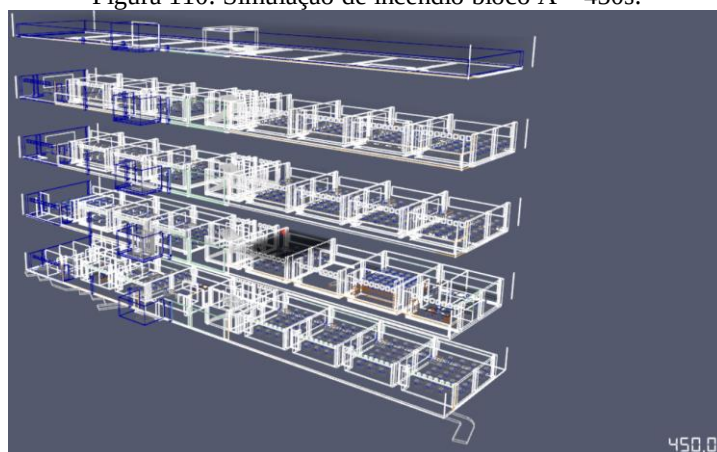
Fonte: A autora.

Figura 109: Simulação de incêndio bloco A – 225s.



Fonte: A autora.

Figura 110: Simulação de incêndio bloco A – 450s.



Fonte: A autora.

Figura 111: Simulação de incêndio bloco A – 675s.



Fonte: A autora.

Figura 112: Simulação de incêndio bloco A – 900s.



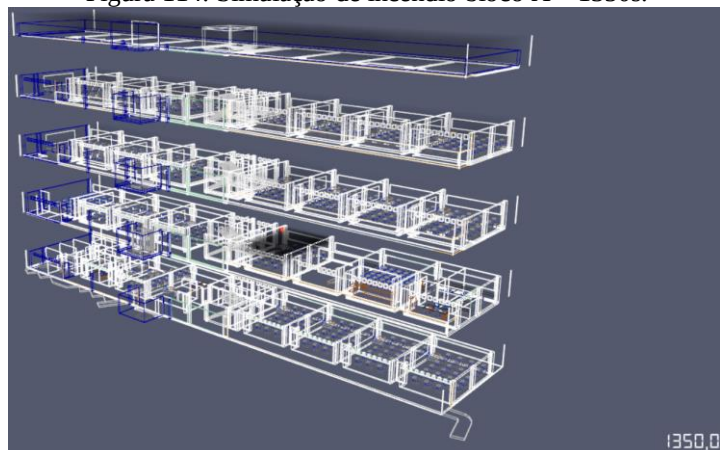
Fonte: A autora.

Figura 113: Simulação de incêndio bloco A – 1125s.



Fonte: A autora.

Figura 114: Simulação de incêndio bloco A – 1350s.



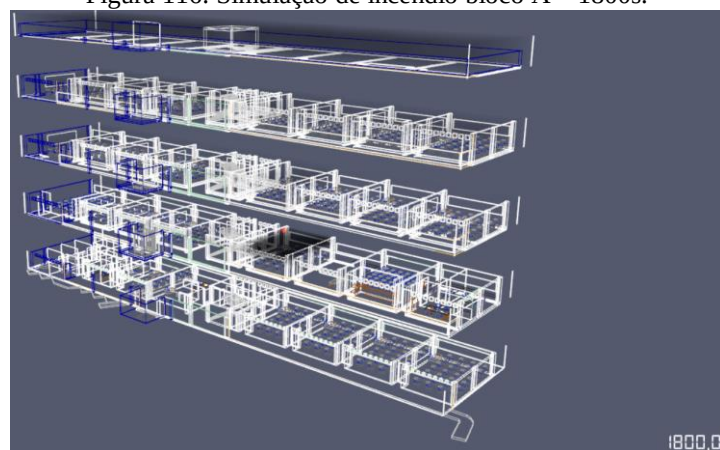
Fonte: A autora.

Figura 115: Simulação de incêndio bloco A – 1575s.



Fonte: A autora.

Figura 116: Simulação de incêndio bloco A – 1800s.



Fonte: A autora.