

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO (PPGAU)

JOÃO PAULO BORGES THOMAZ

A INFLUÊNCIA DA VARANDA ENVIDRAÇADA DE EDIFICAÇÕES
VERTICAIS NA PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO

VITORIA

2023

JOÃO PAULO BORGES THOMAZ

A INFLUÊNCIA DA VARANDA ENVIDRAÇADA DE EDIFICAÇÕES
VERTICAIS NA PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Centro de Artes da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, na área de concentração Patrimônio, sustentabilidade e tecnologia.

Orientadora: Prof.^a Dra. Cristina Engel de Alvarez

VITÓRIA

2023

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

B732i BORGES THOMAZ, JOAO PAULO, 1984-
A INFLUÊNCIA DA VARANDA ENVIDRAÇADA DE EDIFICAÇÕES VERTICAIS NA PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO / JOAO PAULO BORGES THOMAZ. - 2023.
115 f. : il.

Orientadora: Cristina Engel de Alvarez.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes.

1. Balcões (Arquitetura). 2. Incêndios. 3. Simulação (Computadores digitais). 4. Incêndios e prevenção de incêndio.
I. Engel de Alvarez, Cristina. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Artes. III. Título.

CDU: 72

JOÃO PAULO BORGES THOMAZ

“A INFLUÊNCIA DA VARANDA ENVIDRAÇADA DE EDIFICAÇÕES
VERTICAIS NA PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em 21 de março de 2023.

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Cristina Engel de Alvarez
(orientadora – PPGAU/UFES)

Profa. Dra. Edna Aparecida Nico Rodrigues
(membro interno – PPGAU/UFES)

Documento assinado digitalmente
 GEORGE CAJATY BARBOSA BRAGA
Data: 19/05/2023 14:20:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. George Cajaty Barbosa Braga
(membro externo – UnB)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
CRISTINA ENGEL DE ALVAREZ - SIAPE 1172927
Departamento de Arquitetura e Urbanismo - DAU/CAR
Em 14/05/2023 às 17:06

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/710224?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
EDNA APARECIDA NICO RODRIGUES - SIAPE 1173369
Departamento de Arquitetura e Urbanismo - DAU/CAR
Em 17/05/2023 às 16:46

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/712840?tipoArquivo=O>

Dedico este trabalho à minha esposa Elizângela e ao meu filho João Pedro pela compreensão dos momentos de ausência durante o trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida, por me proteger, me guiar e me orientar durante a minha vida.

A minha esposa, que durante todo o percurso me deu força para não desistir dos meus propósitos e seguir em busca do meu sonho. Mesmo diante da minha ausência, foi essencial para a finalização deste trabalho.

A Professora Cristina Engel de Alvarez por toda sua paciência durante a pesquisa e pelos questionamentos e por acreditar no meu potencial. Suas orientações me ajudaram a me tornar um pesquisador melhor.

Ao Professor George Cajaty Braga, que mesmo com restrições de tempo, pode contribuir de forma essencial no uso do programa de simulação.

Ao amigo e companheiro de farda, Felipe de Paula que me ajudou no uso do programa de simulação, sendo peça fundamental para execução das simulações,

Ao Corpo de Bombeiros Militar do ES, que proporcionou a utilização dos equipamentos essenciais a conclusão da pesquisa.

A todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho, fica todo meu agradecimento.

RESUMO

Os ambientes das edificações brasileiras passam por constantes modificações quanto a seu uso, seja por questões cronológicas, mercadológicas ou sociais. Nesse contexto, a varanda possui características que sofreram modificações ao longo dos períodos arquitetônicos brasileiros. De elemento coadjuvante a elemento principal, a varanda contribui para o convívio social dos moradores, melhoria das condições de conforto térmico e iluminação, desempenhando ainda um papel fundamental nas edificações quando se fala de segurança contra incêndios, podendo ser um elemento de proteção no desenvolvimento do incêndio, quando cria uma barreira que posterga a transição das chamas, seja vertical e até horizontalmente. A tendência do envidraçamento das varandas vem se tornando um entrave para a manutenção da segurança das edificações contra as chamas, pois ao fechar este ambiente aumenta o uso de elementos antes não previsto como mobiliários, equipamentos elétricos e outros que ampliam a carga de incêndio do ambiente e reduzem medidas de segurança como a compartimentação. Diante do exposto, o objetivo principal da pesquisa foi analisar a influência da varanda envidraçada na propagação vertical das chamas em edifícios residências. A metodologia foi fundamentada em simulações de modelos genéricos com uso de índices de compartimentação de incêndio aplicados na norma do Corpo de Bombeiros Militar do ES. A fim de otimizar o processo de simulação computacional, a ferramenta utilizada foi o programa *FIRE DYNAMICS SIMULATOR* – FDS, com cenários definidos pela norma vigente. Após a configuração, a simulação computacional foi realizada em dois modelos, sendo um com varanda aberta e outro com envidraçamento da varanda, sendo os dois modelos com atendimento as premissas da norma de compartimentação horizontal. A análise dos resultados demonstrou que ao subtrair índices de compartimentação, a evolução das chamas se desenvolve entre 3 e 4 vezes mais rápido que no modelo padrão. Ademais, observou-se a necessidade de revisões contrastantes das normas de compartimentação e a fiscalização da manutenção destas medidas, além de constantes requalificações de ensaios em escala real e computacional em vistas a manter a segurança das pessoas e do patrimônio.

Palavras-chave: Varanda. Envidraçamento. Incêndio. Compartimentação vertical. Edifícios residenciais verticais. *Fire Dynamics Simulator* (FDS).

ABSTRACT

The environments of Brazilian buildings undergo constant modifications regarding their use, whether due to chronological, marketing or social issues. In this context, the veranda has characteristics that have changed over the course of Brazilian architectural periods. From a supporting element to a main element, the balcony contributes to the social interaction of the residents, improves the conditions of thermal comfort and lighting, also playing a fundamental role in buildings when it comes to fire safety, and can be a protection element in the development of the environment. fire, when it creates a barrier that postpones the transition of flames, whether vertically or even horizontally. The trend towards glazing balconies has become an obstacle to maintaining the safety of buildings against flames, as closing this environment increases the use of previously unforeseen elements such as furniture, electrical equipment and others that increase the fire load of the environment and reduce security measures such as compartmentalization. Given the above, the main objective of the research was to analyze the influence of the glazed balcony on the vertical propagation of flames in residential buildings. The methodology was based on simulations of generic models using fire compartmentalization indices applied in the norm of the Military Fire Brigade of ES. In order to optimize the computer simulation process, the tool used was the FIRE DYNAMICS SIMULATOR – FDS program, with scenarios defined by the current standard. After configuration, the computer simulation was carried out on two models, one with an open balcony and the other with glazing on the balcony, both models complying with the premises of the horizontal partitioning standard. The analysis of the results showed that when subtracting compartmentalization indices, the evolution of the flames develops between 3 and 4 times faster than in the standard model. Furthermore, there was a need for contrasting revisions of compartmentalization rules and inspection of the maintenance of these measures, as well as constant requalification of tests on a real and computational scale in order to maintain the safety of people and property.

Keywords: Balcony. Glazing. Fire. Vertical compartmentalization. Vertical residential buildings. Fire Dynamics Simulator (FDS).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: esquema da casa nordestina com presença de latada e alpendre. (Fonte: Saia, 1939, p. 239)	22
Figura 2: exemplos de alpendre de uma só água (a esquerda) e de tacaniça (a direita). (Fonte: Saia, 1939, p. 239).....	22
Figura 3: exemplos de sacada fechada com muxarabiê. (Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Muxarabi . Acessado em 24 de jul. 2022).....	24
Figura 4: transição dos estilos construtivos. (Fonte: Reis Filho, 1987, p.41)	25
Figura 5: novo estilo de implantação casas brasileiras. (Fonte: Reis Filho, 1987, p.45).....	26
Figura 6: esquema de edifício quatro apartamentos por andar, implantado em dois lotes charutos.(Fonte: BRANDÃO, 2009, p. 38).....	27
Figura 7: Edifícios residências no bairro Praia do Canto – Vitória – ES. (Fonte: o autor).....	30
Figura 8: destroços do Gran Circo Norte-Americano após o sinistro de 1961. (Fonte: https://www.scielo.br/j/rbh/a/3B49LhDfNKhDKqVPZjvxY5R/?lang=pt . Acessado em 25 de jul. 2022).....	31
Figura 9: incêndio Edifício Andraus. (Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Inc%C3%AAndio_no_Edif%C3%ADcio_Andraus . Acessado em 25 de jul. 2022).....	32
Figura 10: combate a incêndio Edifício Joelma. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Inc%C3%AAndio_no_Edif%C3%ADcio_Joelma . Acessado em 25 de jul. 2022	34
Figura 11: curva de liberação de calor de uma sala de estar incendiada. (Fonte: DeHaan, 2007).....	40
Figura 12: Curva de liberação de calor de um dormitório. (Fonte: DeHaan, 2007).....	41
Figura 13: exemplo de compartimentação vertical (verga-peitoril). (Fonte: NT 11/2010 – CBMES (2010))	44
Figura 14: exemplo de compartimentação vertical (abas). (Fonte: NT 11/2010 – CBMES (2010))	44
Figura 15: exemplo de compartimentação vertical em edificações com risco baixo (composição entre aba e verga peitoril). (Fonte: NT 11/2010 – CBMES (2010)).....	45
Figura 16: Desenho esquemático do afastamento da chama ejetada pela janela devido a presença de projeção horizontal. (Fonte: DeHaan, 2007)	50
Figura 17: Cena de incêndio em sofá tomada pela câmara da porta em (a) 102, (b) 136, (c) 170 e (d) 202 segundos após a ignição. (Fonte: Yuen et al. (2014))	51
Figura 18: Visualização da propagação do fogo no sofá no Smokeview indicada pela taxa de liberação de calor por unidade de volume no tempo de simulação de (a) 101,7, (b) 135,9, (c) 170,1 e (d) 201,6 segundos. (Fonte: Yuen et al. (2014))	52
Figura 19: Evolução das chamas no modelo. (Fonte: Pesic et al. (2017))	52
Figura 20: Propagação do fogo para uma distância de separação de 4 m. (Fonte: Pesic et al. (2017)) ..	53
Figura 21: Ensaio sem e com projeção horizontal mostrando o “rebaixamento” das chamas ejetadas pela janela com configuração larga. (Fonte: Rodrigues (2019)).....	54
Figura 22: Visualização da simulação por meio do FDS. (Fonte: Rodrigues (2019)).....	55
Figura 23: fluxograma do processo metodológico empregado no presente trabalho. (Fonte: o autor).....	57
Figura 24: Exemplo de dados de entrada do FDS. (Fonte: o autor).....	60

Figura 25: Imagens geradas pelo SmokeView. (Fonte: o autor).....	61
Figura 26: Temperatura média anual no Espírito Santo (1984-2014). (Fonte: https://meteorologia.incaper.es.gov.br/mapas-de-temperatura-media , acessado em 23 de jan. de 2023)62	62
Figura 27: Perspectiva do modelo de simulação editado no programa Sketchup. (Fonte: o autor).....	63
Figura 28: Corte esquemático do modelo proposto. (a) modelo com atendimento a NT 11/2010. (b) modelo com supressão do limite mínimo do somatório aba mais verga proposto pela NT 11/2010. (Fonte: o autor)	64
Figura 29: Esquema básico de planta baixa do modelo experimental do FDS, onde (a) é o modelo sem envidraçamento e (b) o modelo após envidraçamento. (Fonte: Autor).....	66
Figura 30: Compartimento simulado pelo FDS mostrando a localização do queimador (“vent”) no compartimento inferior dos dois modelos. (Fonte: Autor)	67
Figura 31: Perspectiva da edificação construída no FDS com varanda aberta para as simulações computacionais. (Fonte: Autor)	69
Figura 32: Planta baixa da edificação construída com varanda aberta para as simulações computacionais. Medidas em centímetros e sem escala. (Fonte: Autor)	70
Figura 33: Corte da edificação construída com varanda aberta para as simulações computacionais. Medidas em centímetros e sem escala. (Fonte: Autor)	70
Figura 34: Distâncias entre pavimentos (verga + peitoril) do modelo construído com varanda aberta para simulação computacional. (Fonte: Autor).....	72
Figura 35: Dispositivos de medição de temperatura no modelo construído com varanda aberta para simulação computacional. (Fonte: Autor).....	74
Figura 36: Perspectiva da edificação construída com envidraçamento de varanda para as simulações computacionais. (Fonte: Autor)	75
Figura 37: Planta baixa da edificação construída com envidraçamento de varanda para as simulações computacionais. Medidas em centímetros e sem escala. (Fonte: Autor)	75
Figura 38: Planta baixa da edificação construída com envidraçamento de varanda para as simulações computacionais. Medidas em centímetros e sem escala. (Fonte: Autor)	76
Figura 39: Dispositivos de medição de temperatura no modelo construído com varanda envidraçada para simulação computacional. (Fonte: Autor).....	79
Figura 40: Cronologia do incêndio no modelo de varanda aberta – tempo 165s (2 min e 45s). (Fonte: Autor)	80
Figura 41: Cronologia do incêndio no modelo de varanda aberta – tempo 297s (4 min e 57s). (Fonte: Autor)	81
Figura 42: Cronologia do incêndio no modelo de varanda aberta – tempo 306s (5 m e 06 s). (Fonte: Autor)	82
Figura 43: Cronologia do incêndio modelo computacional varanda aberta. (Fonte: Autor)	84
Figura 44: Cronologia do incêndio no modelo de varanda envidraçada – tempo 165s (2 min e 45s). (Fonte: Autor).....	85
Figura 45: Cronologia do incêndio no modelo de varanda envidraçada – tempo 200s (3 min e 20s). (Fonte: Autor).....	86

Figura 46: Cronologia do incêndio no modelo de varanda envidraçada – tempo 210s (3 min e 30s). (Fonte: Autor).....	86
Figura 47: Cronologia do incêndio modelo computacional varanda aberta. (Fonte: Autor)	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: tabela A Classificação quanto ao risco de incêndio (Fonte: Norma Técnica 04 de 2020 do CBMES).....	46
Tabela 2: Efeitos da radiação térmica nos sólidos (madeira, plásticos) e pele humana. (Fonte: ASTM E1321(1997): Standard Test Method for Determining material ignition and flame spread properties apud DeHaan (2007)).....	50
Tabela 3: Propriedades Térmicas dos Materiais. (Fonte: https://thermttest.com/thermal-resources/materials-database . Acessado em 23 de jan. de 2023).....	69
Tabela 4: Evolução temperatura durante simulação no modelo com varanda aberta. (Fonte: Elaborada pelo autor)	82
Tabela 5: Evolução temperatura durante simulação no modelo com varanda envidraçada. (Fonte: Elaborada pelo autor).....	87

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução temperatura durante simulação no modelo de varanda aberta. (Fonte: Elaborada pelo autor)	83
Gráfico 2: Evolução temperatura durante simulação no modelo de varanda envidraçada. (Fonte: Elaborada pelo autor).....	87
Gráfico 3 - Evolução da temperatura no termopar M1 dos modelos.	90
Gráfico 4 - Evolução da temperatura no guarda-corpo superior nos dois modelos.	91
Gráfico 5 - Evolução de temperatura no vidro da varanda superior (M3) dos dois modelos.....	92

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAT – Centro de Atividades Técnicas

CBMES – Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo

CFD – *Computational Fluid Dynamics*

COSCIP – Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico

FDS – *Fire Dynamics Simulator*

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

IT – Instrução Técnica

NBR – Norma Brasileira

NT – Norma Técnica

NFPA – *National Fire Protection Association*

NIST – *National Institute of Standards and Technology*

NR – Norma Regulamentadora

PMV – Prefeitura Municipal de Vitória

SMV - *SmokeView*

TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivos	19
1.2	Estrutura da dissertação.....	19
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	21
2.1	A Varanda na arquitetura residencial brasileira.....	21
2.2	Incêndios e os impactos nas edificações.....	30
2.2.1	O contexto das legislações: incêndio x edificações	35
2.2.2	Fases do Incêndio	39
2.2.3	Sistemas de Segurança contra Incêndio e Pânico	41
2.2.4	Carga de incêndio	45
2.3	Programas de Simulação Computacional de Incêndio	46
2.3.1	Estudos Gerais Utilizando o FDS.....	48
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	56
3.1	Configuração de dados FDS.....	58
3.2	Definição do modelo integrado.....	62
3.3	Parametrização do Fire Dynamics Simulator – FDS.....	65
3.3.1	Definição da arquitetura do ambiente hipotético	65
3.3.2	Definição das cargas de incêndio do modelo.....	66
3.3.3	Projeto básico do protótipo da simulação	67
3.3.4	Testes e calibração do modelo do FDS.....	68
4	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIO	68
4.1	Parametrização do modelo com varanda aberta.....	68
4.1.1	Geometria da malha.....	69
4.1.2	Condicionantes ambientais da simulação computacional	71
4.1.3	Compartimentação de incêndio	71
4.1.4	Carga de incêndio.....	72
4.1.5	Posicionamento e caracterização dos ignitores.....	73

4.1.6	Dispositivos de medição.....	73
4.2	Parametrização do modelo com varanda envidraçada.....	74
4.2.1	Geometria da malha.....	75
4.2.2	Condicionantes ambientais da simulação computacional	77
4.2.3	Compartimentação de incêndio	77
4.2.4	Carga de incêndio.....	77
4.2.5	Posicionamento e caracterização dos ignitores	78
4.2.6	Dispositivos de medição.....	78
5	RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO	80
5.1	Dinâmica do incêndio no modelo com varanda aberta	80
5.2	Dinâmica do incêndio no modelo com varanda envidraçada	85
5.3	ANÁLISE COMPARATIVA DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.....	90
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	93
7	REFERÊNCIAS	95
	ANEXO B – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADO NO FDS	109

1 INTRODUÇÃO

As varandas são elementos que estão presentes em grande parte das edificações no Brasil, sejam em casas ou apartamentos, e retratam uma característica comum de ser tratada como um atrativo do imóvel, visto ser um elemento de ligação com o exterior da edificação. A definição para este ambiente tem diversas terminologias, tanto no campo da linguagem, como no campo arquitetônico e apresenta usos variados e nomenclaturas diversas.

A varanda tem a função social de encontros e espaço de transição entre o interior e o exterior da edificação, podendo auxiliar na obtenção de conforto ambiental. Para que isso ocorra, alguns aspectos são definidos na fase inicial de projeto, como a observância dos condicionantes de ventos, iluminância e outros fatores que nortearão a implantação da varanda na edificação.

Ainda no campo do conforto ambiental se apresenta como um importante fator de sombreamento do interior da edificação, especialmente para edificações localizadas nos trópicos, promovendo melhor conforto térmico, lumínico e acústico, diminuindo a necessidade de uso de dispositivos artificiais de iluminação e condicionamento artificial de ar.

O envidraçamento da varanda, ou seja, seu fechamento com painéis de vidro, promove uma modificação em relação ao seu uso original, aberto, tornando esse ambiente mais controlável em relação às condições climáticas externas, sendo então adotadas em várias regiões do Brasil com condições climáticas diferentes, teoricamente sem que houvesse prejuízo com o conforto dos usuários da edificação.

Nesse contexto as fachadas passam a se apresentar mais envidraçadas, com proteção em relação à insolação e iluminação excessiva e mantendo a ventilação. A verticalização se torna mais presente nas grandes cidades e a varanda se torna objeto de consumo especialmente para unidades habitacionais de área útil reduzida.

Segundo Jorge (2012) percebe-se ainda que o fechamento das varandas resulta, em alguns casos, em uma padronização das soluções de vedação, a partir do uso dos mesmos elementos industrializados. Além disso, tal prática é favorecida pela facilidade de intervenção decorrentes, a maior parte das vezes, da ineficiência de controles normativos e pela aceitação imediata dos condôminos, interessados especialmente no

acréscimo de área ao ambiente adjacente e pela possibilidade de maior controle das variáveis climáticas.

Na cidade de Vitória, capital do Espírito Santo, ocorre o mesmo fenômeno de envidraçamento das varandas. Segundo Jorge (2004) que realizou análise subjetiva do fechamento das varandas nos edifícios nessa cidade, alguns motivos que contribuíram para o fechamento das varandas foram a poluição atmosférica, gerada pela presença de indústrias de grande porte e de elevado potencial poluidor na cidade, que aliada aos ventos disseminam as partículas em suspensão, atingindo significativamente os moradores dos apartamentos.

Aliado a este crescimento do uso dos sistemas de envidraçamento em varandas, surge a preocupação no campo da segurança contra incêndio e pânico, visto que o envidraçamento se propõe a instituir um novo uso neste espaço, com inserção de mobiliários, equipamentos elétricos e outros elementos que aumentam a carga de incêndio do espaço. Além disso, o fechamento da varanda, muitas das vezes, reduzem as distâncias mínimas previstas na norma de compartimentação, pois ao envidraçar a varanda o elemento da aba horizontal, ou seja, o teto da varanda passa a ser suprimido e deixar de contar como aba de segurança, já que a varanda inicialmente era aberta.

A legislação contra incêndio e pânico passa a ter relevância nas décadas de 70 e 80 do século passado após ocorrerem dois grandes incêndios na cidade de São Paulo, no edifício Andraus (1972) e no Joelma (1975). Estes dois sinistros incentivaram a criação de novas legislações contra incêndio e pânico no Brasil.

A Norma Técnica 11 de 2010 do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Espírito Santo (CBMES), busca estabelecer os parâmetros a serem observados para a compartimentação horizontal e vertical para que, em casos de incêndios, o risco de transmissão do fogo para outras unidades seja retardado com parâmetros de distâncias mínimas entre um pavimento e outro do edifício.

Neste contexto, há relevância em revisar constantemente as normas de segurança contra incêndios e buscar mecanismos para as adaptar de acordo com a realidade das novas propostas arquitetônicas, a fim de evitar que incêndios ocasionem perdas de vidas e de patrimônio.

1.1 Objetivos

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência da varanda envidraçada na propagação de incêndios em edifícios residenciais verticais. A fim de alcançar os resultados pretendidos, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Tipificar uma varanda envidraçada dentro dos parâmetros encontrados na cidade de Vitória e que atenda a legislação de compartimentação vertical.
- Realizar simulação de incêndio utilizando o programa de computador FDS (*Fire Dynamic Simulator*) para uma varanda envidraçada típica e outro modelo com a varanda aberta visando verificar se existe relação entre o fechamento da varanda e a evolução do incêndio;
- Comparar os resultados obtidos com parâmetros da norma de compartimentação de incêndio, identificando as divergências passíveis de correção da norma atual;
- Propor, de acordo com os resultados alcançados, os aspectos a serem ajustados na norma de compartimentação de incêndio no Estado do Espírito Santo a fim de promover mais segurança para os usuários das edificações.

1.2 Estrutura da dissertação

O trabalho discorrerá sobre a influência das varandas envidraçadas no desenvolvimento do incêndio. Para o previsto, a dissertação foi estruturada em cinco capítulos, conforme a seguir detalhado.

O primeiro capítulo apresenta a introdução da pesquisa, que a partir da contextualização do tema, mostra a problemática e a justificativa em se abordar as necessidades atuais de revisão da norma de compartimentação de incêndio frente a nova proposta de uso das varandas envidraçadas. A partir da configuração do cenário problema, são apresentados os objetivos – geral e específicos – e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo mostra o embasamento teórico dos principais temas pertinentes à pesquisa em quatro subcapítulos. Primeiro, se descreve o contexto histórico das varandas, seus significados funcionais e estéticos a fim de determinar a importância deste espaço ao longo dos anos na arquitetura brasileira e como as alterações

interferiram na sua terminologia. No segundo tópico, são abordados o conceito básico de incêndio e os grandes incêndios no Brasil, mostrando as relações com as legislações de prevenção contra incêndio e pânico. Em seguida, são apresentadas as normativas que regem a construção de edifícios na cidade de Vitória e as normas de incêndio, demonstrando a evolução do tema desde o nível internacional ao local.

No terceiro capítulo é detalhado o procedimento metodológico utilizado para o desenvolvimento da pesquisa para alcançar os objetivos determinados. Inicialmente, são caracterizados os elementos do objeto de estudo, tanto da edificação como do ambiente, que dão origem aos cenários a serem simulados. Para o processo de simulação computacional, cada cenário foi modelado com suas especificações físicas e térmicas e os dados são gerados para verificação da evolução do incêndio nos cenários pré-definidos.

O capítulo seguinte apresenta os resultados obtidos com as simulações computacionais de cada cenário, possibilitando identificar, por meio do comparativo de gráficos e tabelas, se o envidraçamento afeta ou não a evolução do incêndio em edifícios verticais. Com a avaliação dos resultados, é possível estabelecer novos parâmetros normativos para compartimentação de incêndio a fim de aumentar a segurança contra incêndio no cenário estudado.

No capítulo cinco são abordadas as considerações finais sobre o estudo e seu desenvolvimento, na qual são apontadas as restrições e sugestões para pesquisas futuras. Por fim, na última parte da dissertação, são listadas as referências bibliográficas que serviram como base para o desenvolvimento da pesquisa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para a revisão da literatura, foram definidos três aspectos fundamentais necessários para o embasamento conceitual da pesquisa: as questões inerentes à varanda na arquitetura residencial brasileira; os aspectos relacionados ao incêndio e a metodologia de pesquisa através do uso de simuladores.

2.1 A Varanda na arquitetura residencial brasileira

A varanda é um elemento quase constante das habitações no Brasil e, por isso, retrata uma linguagem comum à arquitetura doméstica brasileira, podendo ser considerada como parte da cultura material desse povo, refletindo seus hábitos de moradia (BRANDÃO, 2008).

Essa condição da varanda que Pallasmaa (2006, p. 487), em seus estudos sobre fenomenologia, diz “fazer parte dos sentimentos primordiais gerados pela arquitetura [...] (que é o de) entrar na casa, atravessar a porta, cruzar a fronteira entre exterior e interior”, identificando a varanda quase como um percurso obrigatório do usuário.

Luis Saia (1939) faz referência à varanda a partir de dois termos: latada e alpendre. O primeiro termo diz respeito a uma peça formada por quatro esteios e uma cobertura de galhos e folhas encostada na edificação, mas sem participar da estrutura dela. O segundo, alpendre, se difere do primeiro por ser resultado do prolongamento do telhado, sendo, então, sua cobertura de uma só água ou de tacaniça. Para Saia (1939), o alpendre é sempre um elemento que se situa na frente da casa, podendo anteceder a construção ou estar embutido no corpo da fachada, como pode ser visto na figura 2. Na figura 1 pode-se perceber o uso das duas formas de varanda na casa brasileira.

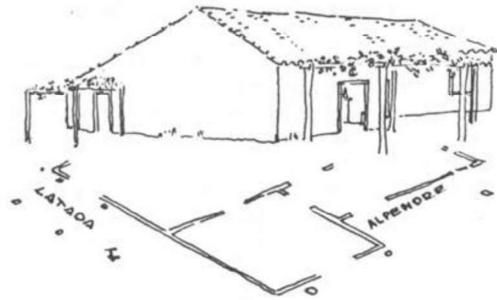


Figura 1: esquema da casa nordestina com presença de latada e alpendre. (Fonte: Saia, 1939, p. 239)

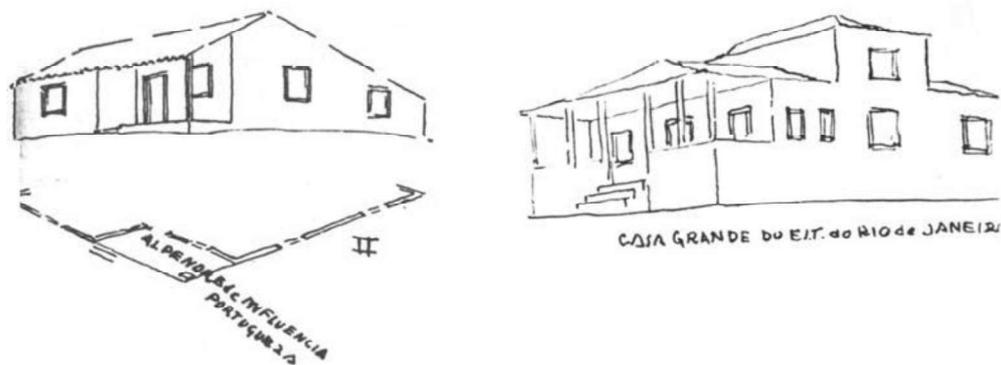


Figura 2: exemplos de alpendre de uma só água (a esquerda) e de tacaniça (a direita). (Fonte: Saia, 1939, p. 239)

Ainda outros termos são encontrados na literatura para definir a varanda. Assim como na definição do Glossário de Arquitetura e Ornamentação sobre o Barroco Mineiro, que cita “parte da construção que se projeta em balanço da superfície da fachada” (ÁVILA; GONTIJO; MACHADO, 1980, p. 83).

[...] como se não fossem suficientes os termos galeria, sacada, balcão, corredor, sala de jantar, alpendre e latada, já comentados anteriormente, os textos de arquitetura ainda utilizam, para se referirem à varanda, às denominações terraço e eirado, mesmo que raramente empregadas, talvez por expressarem também espaços que não pertençam à fachada e, sim, à cobertura da edificação, trazendo características que certamente remetem a outros usos e apropriações (BRANDÃO, 2009, p.12).

Os aspectos formais variam ao longo do tempo de acordo com as técnicas construtivas, com os estilos arquitetônicos, com os costumes e interesses de cada época, o que vai

determinar a existência de diversas tipologias, tipos variados de varanda e, conseqüentemente, uma pluralidade de terminologias (BRANDAO, 2012).

Na arquitetura brasileira, a varanda passa por diversas fases de uso do ambiente, visto que no início servia apenas como elemento de conforto ambiental na ausência de sistemas artificiais de iluminação e ventilação, o que favorecia os portugueses que não estavam acostumados com o clima tropical encontrado no Brasil.

Pela função de adequação climática da casa portuguesa em território tropical, as varandas não são simplesmente elementos de origem moura e asiática trazida por Portugal, mas também, elementos brasileiros. “Brasileiros por terem sido reinventados aqui entre nós desde os primeiros momentos” (LEMOS, 1996, p. 27).

Segundo Lemos (1996), o alpendre é brasileiro, pois, apesar de ter referência com o bangalô indiano, é uma adaptação da casa portuguesa ao clima do Brasil. Já a varanda, elemento que para o autor pode ser alpendrado, mas que não comporta a mesma função do alpendre, é brasileira por entrar na casa a partir da influência da oca dos índios nativos. E ainda complementa que a casa portuguesa, quando implantada no Brasil, expulsa para o lado de fora o preparo das refeições, apropriando os costumes indígenas. A cozinha, então, torna-se um apêndice da construção e é ligada a esta por meio de uma varanda.

A influência moura diz respeito mais ao fechamento em gelosia e muxarabiê (figura 3) que remete às galerias mourescas, fato que Gilberto Freyre descreve tal semelhança do estilo arquitetônico existente na época.

[...] (apesar das diferenças) muito mais fortes se apresentam as semelhanças entre as duas expressões arquitetônicas do mesmo tipo de patriarcado e das mesmas tendências da colonização portuguesa do Brasil no sentido de adaptação do meio americano e tropical de tradições e técnicas portuguesas de casa e de construção. Técnicas e tradições enriquecidas pelo contato lusitano com o mouro e com o extremo oriente. Vê-se, por exemplo, que nas casas de campo desenvolveu-se no Sul, como no Norte, aquela continuidade de uma varanda (FREYRE, 1943, p.102).



Figura 3: exemplos de sacada fechada com muxarabiê. (Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Muxarabi>. Acessado em 24 de jul. 2022)

A chegada da Coroa Portuguesa traz consigo um desafio de construir residências que se adequem ao clima brasileiro, com longos períodos quentes, materiais de construção diferentes, e o modo de vida local. Por toda parte, em casas térreas rurais, engenhos ou fazendas, observa-se ampla varanda na frente, com colunas ou pilastras de alvenaria ou esteios de madeira, toda aberta, ou tendo no eixo a escadaria, e de um lado a capela ou um cômodo a fechá-la. Nas assobradadas, alpendre na frente, sobre pilastras com grades de madeira recortada. Casas urbanas com amplas varandas no primeiro andar e em toda a extensão da fachada, com peitoril de alvenaria ou de tábuas, ou de torneados, não são raras (RODRIGUES, 1945, p. 173)”.

Incomodados com a presença moura nas edificações brasileiras a Corte Real passa a determinar a retirada de elementos nas edificações brasileiras da época, tais como muxarabiês, gelsias e treliças como forma de impor métodos construtivos mais próximos da realidade portuguesa. O regente à época, D. João VI determina ao desembargador Paulo Fernandes Vianna que fica responsável “de limpar a cidade, eliminando, principalmente, aqueles citados guarnecimentos mouriscos” (LEMOS, 1996, p. 46).

Para Reis Filho (1987), de fato, a presença da Missão Artística Francesa prestigiando a difusão da arquitetura neoclássica, iria favorecer, simultaneamente, a implantação de tipos mais refinados de construção, contribuindo desse modo para o abandono das velhas soluções coloniais.

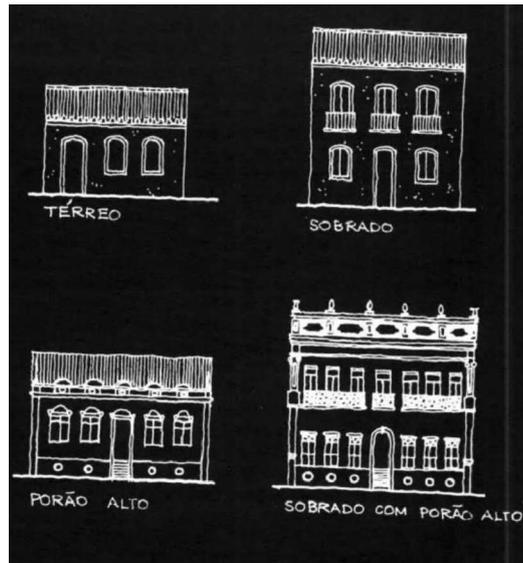


Figura 4: transição dos estilos construtivos. (Fonte: Reis Filho, 1987, p.41)

Ao analisar as mudanças referente as varandas, Brandão (2009) destaca que a principal diferença estava nos elementos de vedação e proteção (guarda-corpo), assim como no seu dimensionamento. Encaixadas na alvenaria e sustentadas pela pedra, as varandas, agora chamadas de sacadas ou de balcões, tinham peitoril de ferro e apresentavam pouco balanço, muito em função da caixa da rua ser estreita, restringindo saliências nas fachadas situadas no alinhamento do terreno.

Em meados do séc. XIX as transformações socioeconômicas e tecnológicas trouxeram um novo olhar para a casa brasileira, que já dispunha de novos materiais de construção e a oferta de métodos construtivos que geraram uma nova transição do modelo de moradia.

Para Reis Filho (1987, p. 44), “as primeiras transformações verificadas então nas soluções de implantação ligavam-se aos esforços de libertação das construções em relação ao limite do lote”.

A varanda assim se desloca para a lateral da edificação com comunicação com alguns cômodos da edificação, como a cozinha que utilizava a varanda como apoio nas refeições principais e a sala que fazia uso da varanda para recebimento das visitas, como cita Reis Filho (1987, p. 46) que “em inúmeros casos, o alpendre de ferro iria funcionar até certo ponto como corredor. Para ele abrir as portas da sala de visitas e de almoço, janelas ou portas de alguns quartos e, por vezes, mesmo as portas da cozinha”.

No início do século XX, com a segunda revolução industrial e a abolição da escravatura que ocorrera no fim do século XIX, trouxeram mudanças significativas que foram notadas entre as duas guerras mundiais, com o uso mais livre do lote, mas ainda mantendo as características construtivas do período anterior, conforme demonstra a figura 5.



Figura 5: novo estilo de implantação casas brasileiras. (Fonte: Reis Filho, 1987, p.45)

Para Reis Filho (1987, p. 61), as características da edificação colonial ou da república mantinham traços que remetiam a aquela época e ainda “ostentavam seus balcões ou, pelo menos, um pequeno guarda-corpo de ferro batido e um arremate de madeira, conferindo-lhes uma indiscutível semelhança com os velhos sobrados residências dos tempos de colônia. Esses traços persistiriam mesmo em edificações construídas entre 1920 e 1930”.

A partir da metade do século XX, uma nova transição do uso da varanda se apresenta nas casas brasileiras, que traz ambientes fechados ora chamados de jardim de inverno, uma clara influência inglesa “na arquitetura brasileira de quase todo o período em que influíram os esquemas do ecletismo” (REIS FILHO, 1987, p.176). Era um ambiente fechado com esquadrias de vidro, normalmente chamadas de *bay window*, onde, “nas regiões de clima quente, localizavam-se ali, normalmente, as varandas de uso familiar”

(REIS FILHO, 1987, p.76). Esse jardim-de-inverno, única ligação da sala com o exterior, contudo, pode ser visto como uma releitura das varandas laterais que serviam de acesso às casas (figura 6).

Nesses tipos de apartamentos, operando como o jardim-de-inverno inglês da habitação eclética, elas estão fechadas, talvez devido aos ventos que são tão mais fortes quanto mais alto são os edifícios e, provavelmente, para bloquear o barulho das ruas que se propaga para cima. Entretanto, elas também aparecem abertas na sua função de amenizar o calor e de ligação entre o interior e o exterior, sendo chamadas de balcão ou de varanda embutida no corpo da fachada (BRANDÃO, 2009, p.38).

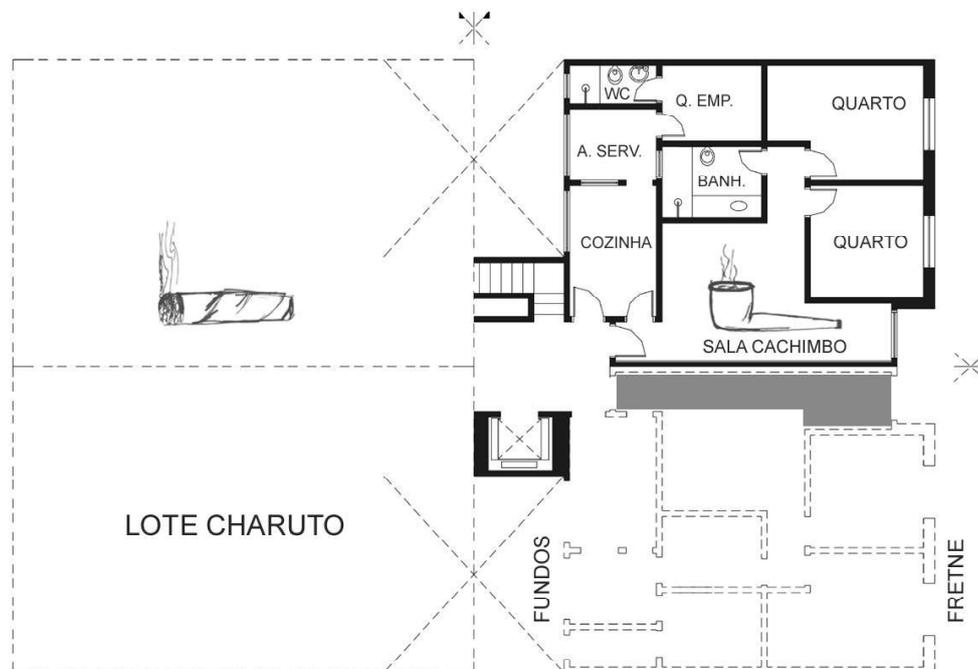


Figura 6: esquema de edifício quatro apartamentos por andar, implantado em dois lotes charutos. (Fonte: BRANDÃO, 2009, p. 38)

Os primeiros prédios verticais construídos tinham a varanda como elemento embutidos na fachada, por vezes em balanço sem cobertura por influência externa.

Nas décadas de 30 e 40, vários edifícios de apartamentos, construídos dentro da síntese formal do *art déco* e destinados a dar moradia aos segmentos de classe média em expansão, admitiam varandas. A proposta, porém, é diversa, pois esse tipo de varanda

[...] é um segmento construtivo mais ligado ao clima europeu. (BITTAR; VERISSIMO, 1999, p. 39.)

Com o tempo foi visto que a cópia de modelos europeus não eram uma boa forma de uso da varanda, que nesses países eram usadas como forma de obtenção de radiação e calor. No Brasil, com clima quente e úmido na sua maior territorialidade, as varandas passam a apresentar panos de vidro ou venezianas ou ainda cortinas para amenizar os efeitos do calor.

A partir daí com a climatização artificial mais presente nos edifícios, a varanda se fecha por completo. Para Bittar e Verissimo (1999) a varanda vai gradativamente extinguindo-se [...] panos de vidro e amplos janelões serão guarnecidos por cortinas [...].

A partir dos anos 70 do século passado, a varanda reassume o papel de conexão com o exterior (figura 7), muito da influência pós-moderna na arquitetura, trazendo novamente esse “contato com a natureza”.

A varanda perde seu sentido de vigília, controle, amenização e transição antes existentes, trocados agora por um mero complemento do setor social, nem sempre utilizado – pois pendurada no edifício, expõe seus usuários ao público como manequins numa vitrine, gerando verdadeiros rituais para sua ocupação e definição do mobiliário (BITTAR; VERISSIMO, 1999, p. 45).

Nas décadas seguintes, anos 80 e 90 do século passado, não houve muitas alterações na função da varanda, sendo utilizada apenas em ocasiões especiais de confraternização ou apenas para contemplar cenários dos pontos mais altos da cidade. Quanto à tipologia, foram mantidas as premissas dos anos anteriores, com espaço aberto e cobertos ora com elementos sombreadores como toldos, cortinas ou elementos vazados.

No fim dos anos 90 e início do séc. XXI, com a explosão imobiliárias os conceitos construtivos visam atender o mercado em expansão, sem preocupação com conforto ambiental, os edifícios são implantados com tipologias que se repetem em diversas cidades e estados brasileiros. As varandas passam a ser objeto de desejo de quem quer comprar, muito porque deseja-se ter aquele espaço não para contemplar o exterior, aproveitar a radiação solar e o calor, mas como forma de ampliar o espaço em unidades

habitacionais cada vez menores. Assim, estes espaços acabam ganhando novas funções nas residências do séc. XXI. Este fechamento da varanda com vidro já foi visto em outras épocas, como mencionado anteriormente, porém com outros fins.

O fechamento do espaço da varanda por diversos moradores dos edifícios de apartamento, mesmo quando esse ambiente era desejado, é algo que questiona a sua importância para os hábitos de moradia do carioca e, mesmo ocorrendo em todas as décadas do século XX e não apenas na atualidade, a abordagem desse tema ajuda a avaliar se o retorno expressivo da varanda nos últimos anos está atrelado ou não com o modo de vida desse povo, pois, de alguma maneira, indica a importância desse ambiente na casa, focando a discussão na questão de que se varandas são fechadas, elas também são, diversas vezes, abertas (BRANDÃO, 2009, p. 73).

Na cidade de Vitória, existem diversas condicionantes que levam os usuários a fechar a varanda, sendo a poluição um fator potencial na hora da escolha do uso de vedação do ambiente. Para Jorge (2012, p. 427), “a associação de varandas a um determinado ambiente é consequência da possibilidade de efetuar o fechamento dessas, procedimento usual que permite controlar as condições climáticas, acústicas e potencializar a privacidade dos moradores”.

Pode-se observar diversos tipos de fechamentos de varanda (figura 7) encontrados em Vitória, que na sua maioria variam de acordo com a fachada do prédio, cor da pele de vidro utilizado no guarda-corpo da varanda e tipo de fechamento padrão adotado pelo condomínio ou convenção. Para quase todos os casos, as intervenções acontecem após a entrega do imóvel e desconfiguram o projeto original anteriormente aprovado nos órgãos de controle como Prefeitura e Corpo de Bombeiros.



Figura 7: Edifícios residências no bairro Praia do Canto – Vitória – ES. (Fonte: o autor)

2.2 Incêndios e os impactos nas edificações

Na área de segurança contra incêndio e pânico, assim como em muitas outras áreas, as mudanças somente ocorrem após fatos em que as consequências são notórias. Grandes incêndios ao longo dos tempos geram mudanças em comportamentos e normas visando gerar mais segurança para o usuário da edificação.

No Brasil, esse roteiro foi seguido quando ocorreram os primeiros incêndios de maiores proporções, obrigando a reflexões e mudanças de procedimentos acerca dos aspectos relacionados à segurança contra incêndio e pânico, buscando aprimorar ou até mesmo criar normas que pudessem minimizar impactos relacionados aos incêndios nas cidades.

Até a década de 70 do séc. XX, poucos incêndios eram relatados, ou os que eram conhecidos não tinham números expressivos de vítimas que pudessem comover a sociedade.

O que tinha de regulamentação, constava nos Códigos de Obras dos municípios brasileiros ou eram regulamentados por seguradoras, fato que não cobria na totalidade as medidas de prevenção contra incêndio e pânico. Mesmo com os acontecimentos ocorridos em outros países, que posteriormente tornaram normas mais rígidas, foi suficiente para que no Brasil fossem aplicadas normas mais exigentes para incêndios.

A primeira legislação que tratava do trabalho de Corpos de Bombeiros é datada do ano de 1856, quando através do Decreto Imperial nº 1.775, de 2 de julho de 1856, cria o Corpo Provisório de Bombeiros da Corte.

Art. 1º O serviço da extinção de incêndios será feito por bombeiros, sob o comando de um Director, com auxílio das Autoridades policiais, e coadjuvação da força pública, na forma designada no presente regulamento (BRASIL, 1856).

A criação de leis voltadas efetivamente para a prevenção contra incêndios no Brasil somente recebeu atenção a partir dos trágicos acontecimentos envolvendo a deflagração de grandes incêndios nas cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo nas décadas de 60 e 70 do século passado. Tais incêndios foram divisores de águas, porque mobilizaram a sociedade para mudanças nas condições de segurança até então vigentes (GILL *et al.*, 2008).

Em 1961, na cidade de Niterói no estado do Rio de Janeiro ocorreu o maior incêndio em perda de vidas no Brasil notificado até a presente data, o Gran Circo Norte-Americano, que acumulou a morte de 317 pessoas e mais de 400 pessoas feridas, sendo que esses números posteriormente aumentaram chegando a, aproximadamente, 500 mortos. O incêndio se alastrou minutos antes do término do espetáculo quando a lona de cobertura se incendiou de forma rápida que em poucos minutos desabou em chamas em cima dos espectadores. A falta de retardantes de fogo do material aliado a ausência de saídas de emergências para a população do espetáculo contribuíram para a tragédia. A figura 8 mostra como ficou a estrutura após incêndio.



Foto 1 – Picadeiro vazio. Fonte: *Correio da Manhã*.
Arquivo Nacional.

Figura 8: destroços do Gran Circo Norte-Americano após o sinistro de 1961. (Fonte: <https://www.scielo.br/j/rbh/a/3B49LhDfNKhDKqVPZjvxY5R/?lang=pt>. Acessado em 25 de jul. 2022)

No ano de 1972, na cidade de São Paulo ocorria o maior incêndio em edificação vertical do Brasil, o edifício Andraus com 31 pavimentos, estrutura de concreto e fachada em pele de vidro situado no centro da cidade de São Paulo, que é tomado por chamas iniciadas em uma loja no térreo e que logo se espalharam por toda a edificação.

De acordo com Negrisolo (2011, p. 14), “mais pessoas não pereceram pela existência de instalações de um heliponto na cobertura [...] esse isolamento foi mais eficiente pelo fato de os quatro últimos andares da edificação encontrarem-se desocupados”.

O incêndio do edifício Andraus (figura 9) gerou um debate sobre a necessidade de revisão da regulamentação contra incêndio na cidade e no Estado de São Paulo, o que levou à criação de grupos de trabalho para a discussão do problema, os quais, apesar da proposição de reformulações nas legislações para dar mais autonomia aos Corpos de Bombeiros em relação às Polícias e na estrutura dos Corpos de Bombeiros, acabaram tendo suas propostas enfraquecidas e arquivadas, pois, com exceção dos bombeiros do Rio de Janeiro e de Brasília, todos os demais faziam parte das Polícias Militares, ou seja, estavam vinculados administrativamente e operacionalmente ao Comando da Polícia, que não via com simpatia a ideia de abrir mão desse contingente de sua tropa (GILL *et al.*, 2008).



Figura 9: incêndio Edifício Andraus. (Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Inc%C3%AAndio_no_Edif%C3%ADcio_Andraus. Acessado em 25 de jul. 2022)

Com poucas vítimas fatais, o incêndio impressionou mais pela estrutura pegando fogo do que pelo número de vítimas, fato que não produziu efeitos normativos, mesmo com os esforços de alguns grupos de estudo na época. Para Negrisolo (2011, p. 15), “com o passar do tempo esses trabalhos foram perdendo o ímpeto inicial, e mesmos aqueles que conseguiram levar a termo suas tarefas, viram seus esforços caminharem para um processo de engavetamento dos estudos e proposições.

Após dois anos do incêndio no edifício Andraus, a cidade de São Paulo assiste a mais um sinistro de incêndio em edificação vertical, desta vez o edifício Joelma, que produz uma cena mais trágica que o antecessor e acumula mais de 170 mortos e 300 feridos. Cenas de angústia promoveram comoção na imprensa da época, sendo que “neste incêndio, pessoas se projetaram pela fachada do prédio, gerando imagens fortes e de grande comoção” (NEGRISOLO, 2011, p. 16).

Além de acumular mais vítimas fatais, o Joelma (figura 10) não teve as mesmas condicionantes do Andraus, que provia de uma área de heliponto e contava com 3 andares vazios, fato que facilitou o resgate de mais pessoas. Segundo Rodrigues (2009), a compartimentação dos escritórios era feita com divisórias de madeira, fixadas por ripas, e o piso era revestido de carpete, materiais altamente inflamáveis e de fácil propagação do calor. Embora várias pessoas tenham-se dirigido para os últimos andares, como havia ocorrido no edifício Andraus, no prédio não existia heliponto, o que impossibilitou o resgate, e com isso muitas pessoas lá pereceram.



Figura 10: Figura 10: combate a incêndio Edifício Joelma. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Inc%C3%AAndio_no_Edif%C3%ADcio_Joelma. Acessado em 25 de jul. 2022

Os sinistros nos edifícios Joelma e Andraus fizeram com que a percepção do risco de incêndios mudasse, dando ensejo à reformulação de medidas de proteção (GILL *et al.*, 2008). Nos anos seguintes os estudos se concentraram nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, com a realização de debates e simpósios com intuito de aprimorar a legislação.

A primeira manifestação técnica ocorreu de 18 a 21 de março de 1974, quando o Clube de Engenharia do Rio de Janeiro realizou Simpósio de Segurança Contra Incêndio, buscando o desenvolvimento de três linhas mestras de raciocínio: 1. Como evitar incêndios; 2. Como combatê-los; 3. Como minimizar seus efeitos. Apresentaram-se 13 especialistas, tendo as palestras sido transcritas na Revista do Clube de Engenharia (RJ) de maio/junho de 1974 (NEGRISOLO, 2011).

Posteriormente, outros grupos foram formados nos estados para regulamentar normas de proteção contra incêndio e pânico, porém ainda esbarravam nas falhas técnicas por falta de profissionais habilitados, e de uma normativa brasileira que regesse os demais

estados e assim foram sendo criadas normas estaduais com parâmetros diversos de riscos e medidas de segurança.

2.2.1 O contexto das legislações: incêndio x edificações

Pode-se afirmar que as normas sobre prevenção e proteção contra incêndio e pânico possui um marco temporal histórico, a partir da década de 70 do século passado, devido às tragédias que aconteceram e que vitimaram centenas de pessoas justamente pela inexistência de sistemas devidamente construídos ou instalados.

Antes, a regulamentação relativa ao tema era esparsa, contida nos Códigos de Obras dos municípios, sem quaisquer incorporações do aprendizado dos incêndios ocorridos no exterior, salvo quanto ao dimensionamento da largura das saídas, das escadas e da previsão de incombustibilidade de escadas e da estrutura de prédios elevados (GILL *et al*, 2008).

Os estados do Rio de Janeiro e São Paulo publicaram decretos que viraram Códigos de Segurança contra Incêndio e Pânico nestas cidades e o Governo Federal, por meio do Ministério do Trabalho publicou a Norma Regulamentadora nº 23 – NR 23 – a qual exigia sistemas de proteção contra incêndios nos locais de trabalho. Desta última se relaciona muito com os dois grandes incêndios, Joelma e Andraus, pois os dois eram prédios comerciais e de escritórios.

No Estado do Espírito Santo, a primeira legislação surge em 1978, a Lei 3.218, que institui o poder de atuação do Corpo de Bombeiros conforme descrê no artigo primeiro da lei:

Art. 1º - Compete ao Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Espírito Santo – CBMES, por meio de seu órgão próprio, estudar, analisar, planejar, normatizar, exigir e fiscalizar todo o serviço de segurança das pessoas e de seus bens, contra incêndio e pânico, como disposto nesta Lei e em sua regulamentação (ESPIRITO SANTO, 1978).

Em 1985, o Corpo de Bombeiros Militar do ES apresenta seu primeiro Código de Segurança contra Incêndio e Pânico, regulamentado pelo Decreto 2.125-N que com a Lei 3.218/1978, institui o primeiro código de segurança contra incêndios do estado do ES.

Art. 3º - Compete ao Corpo de Bombeiros por meio de seu Órgão próprio – Centro de Atividades Técnicas (CAT) – estudar, analisar, planejar, normatizar, exigir e fiscalizar o cumprimento das disposições legais, assim como todo o serviço de segurança contra incêndio e pânico na forma estabelecida neste Decreto (ESPIRITO SANTO, 1985).

No ano de 2009, o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico – COSCIP – tem sua primeira alteração, com a revisão de normas, adequação de novos usos e sistemas de segurança na edificação vigente até a data presente.

As normas ABNT – NBR que dissertam acerca de segurança contra incêndio, são parâmetros básicos para elaboração de normas no âmbito estadual nos corpos de bombeiros no Brasil. Além destas, as internacionais são comumente usadas na falta de referência acerca de determinados assuntos. As mais usadas são as normas americanas da Associação Nacional de Proteção ContraFogo, NFPA - *National Fire Protection Association*.

Cabe ressaltar que constantemente os COSCIP são revisados a fim de rever ações mais efetivas na proteção e segurança contra incêndio e pânico, porém a dinâmica do passado se repete, e as atualizações mais consistentes são realizadas após algum sinistro que cause repercussão na sociedade. Serve de exemplo o caso da Boate Kiss no Rio Grande do Sul, que causou a morte de 242 pessoas em 2013 e foi usado como base para elaboração da Lei 13.425 de 2017, que estabeleceu medidas mais rígidas na prevenção de sinistros em locais de reunião de público.

Os códigos de edificações são instrumentos de ordenamento das cidades para garantir a segurança na construção da edificação, visando o bem comum e coletivo. É curioso observar que desde a Roma antiga (450 AC), já existiam obrigações de recuos das edificações em relação aos vizinhos e limites de altura, devido a desmoronamentos (SOUZA, 2015).

Em Vitória, o primeiro Código de Obras foi instituído pela Lei 351 de 1954 que regulamentava obras, posturas e tributos. Com a evolução da sociedade e o aumento das construções houve necessidade de separar as temáticas que até então eram previstas na Lei 351/54.

Nos municípios brasileiros, a instituição do Código de obras serve para regulamentar o controle e fiscalização do espaço edificado a fim de garantir um crescimento ordenado na cidade. Na cidade de Vitória, o Código de Edificações foi instituído pela Lei 4.281 de 1998, com diversas revisões realizadas ao longo dos últimos que são necessárias para adequar o ambiente as necessidades trazidas pela evolução da sociedade.

A lei municipal 4.821/98 de Vitória - ES em seu Art. 2 estabelece que “O Código de edificações determina os procedimentos administrativos e as regras, gerais e específicas, a serem obedecidas no projeto, licenciamento, execução, manutenção e utilização das obras, edificações e equipamentos, sem prejuízo do disposto nas legislações municipal, estadual e federal pertinentes” (VITÓRIA, 1998).

O Código de Obras traz diversos conceitos sobre varandas de padrões de construção e uso deste ambiente, entre eles, acerca dos fechamentos. No quarto parágrafo do artigo 140 cita que “as aberturas das varandas não poderão ser fechadas por esquadrias (VITÓRIA, 1998)”. Já no ano de 2006, por meio da Lei 6.801/2006 a tolerância para o fechamento de varandas, aparece com a seguinte redação:

§ 4º. Fica tolerado o fechamento das varandas desde que os materiais nela empregados garantam plena condição de iluminação, ventilação, permeabilidade ou transparência visual aos compartimentos cujos vãos elas se abrem e sejam instalados sobre o guarda-corpo ou jardineira (PMV, 2006).

Ao analisar quanto à validade da Lei publicada em 2006, que se inicia com “[...] fica tolerado [...]”, o legislador ainda deixa um vácuo na interpretação se for considerado o viés do direito administrativo quanto aos atos administrativos, neste caso o ato de permissão.

O jurista Meireles (2013, p. 103) conceitua o ato administrativo como “toda manifestação unilateral de vontade da Administração Pública que, agindo nessa qualidade, tenha por fim imediato adquirir; resguardar; transferir; modificar; extinguir e declarar direitos, ou impor obrigações aos administrados ou a si própria”. Quanto ao ato de permissão, Meireles (2013, p. 135) cita ainda que é “um ato administrativo negocial, discricionário e

precário, pelo qual o Poder Público faculta ao particular a execução de serviços de interesse coletivo, ou o uso especial de bens públicos, a título gratuito ou remunerado, nas condições estabelecidas pela administração”. Quando se concede um alvará de funcionamento ou habite-se, esse ato se configura por ter havido uma prévia aprovação de projeto de acordo com os parâmetros normativos do código de obras do município, sendo assim é um direito adquirido que não pode ser retirado.

No que diz respeito ao ato de autorização, Maria Di Pietro define que “autorização é o ato unilateral e discricionário pelo qual o Poder Público, faculta ao particular o uso privativo de bem público, a título precário (2016).” Ou seja, a palavra tolerada na Lei 8.601/2006 deixa claro que “tolera-se” o fechamento de varanda desde que sejam atendidas as condicionantes indicadas na Lei, podendo ainda a administração a qualquer tempo revogar esta permissão, sendo o usuário obrigado a remover caso haja tal alteração.

Para tanto, atualmente o que se observa são procedimento de vedação das varandas sendo efetuados sem que haja prévio impacto em outros campos como a segurança contra incêndio, se for considerado que os fechamentos da varanda ocorrem após a entrega do imóvel, ou seja, trata-se de edifícios com prévio alvará do Corpo de Bombeiros, que na renovação não são cobrados alterações de unidades habitacionais privativas e sim no espaço comum do edifício.

A norma técnica 01 parte 03 do Corpo de Bombeiros Militar do ES, indica no item 5.2.2 que “a concessão de alvarás do Corpo de Bombeiros às unidades autônomas, inseridas em edificações principais (condomínio), está condicionada à regularização da edificação principal onde são exercidas as suas atividades, de acordo com a Legislação de Segurança Contra Incêndio, salvas as exceções previstas na presente norma (ESPIRITO SANTO, 2021)”. Sendo assim não cabe a fiscalização interna em unidades autônomas, apartamentos residenciais, no ato da vistoria, se restringindo apenas as áreas comuns.

Mesmo que não seja um ato comum nas vistorias, há de se considerar que em uma renovação de alvará onde a fachada encontra-se alterada, com fechamentos de varanda, esta deveria ser motivo de modificação de projeto, visto que na aprovação do projeto de prevenção e combate a incêndio não havia tal elemento de vedação. Apesar disso, não existe esta premissa nas legislações do CBMES.

2.2.2 Fases do Incêndio

Existem quatro fases que compõe o incêndio, que passa desde a ignição ou fase inicial até o completo resfriamento. A ação em cada fase vai determinar o tamanho do sinistro a ser causado pelas chamas, podendo ainda ser minimizada caso haja ação humana no decorrer das fases do incêndio.

Na fase inicial, o incêndio ocorre através da ignição de algum material combustível, geralmente apresenta baixas e fácil controle para sua extinção.

A temperatura do ambiente e a quantidade de oxigênio não apresentam alterações significativas. Neste caso, a combustão é governada pela quantidade de materiais combustíveis podendo ser considerada uma queima livre (QUINTIERE, 1998).

Após a ignição, caso não haja nenhuma ação humana ou de sistemas passivos o incêndio evolui, passando a fornecer mais calor e os objetos do ambiente passam a aquecer por convecção ou radiação até que se alcance a temperatura de ignição dos materiais afetados.

Para melhor entendimento sobre o conceito de ignição, a taxa de liberação de calor, ou *Heat Release Rate* (HRR), entende-se pela quantidade de energia térmica desprendida durante o incêndio, expressa em Watt (NFPA 101, 2001).

A partir deste ponto, a temperatura continua aumentando e apresenta maiores índices na parte superior do ambiente, advindos da queima dos materiais. Na parte mais baixa do ambiente, a temperatura é mais baixa e existe mais ar disponível. No contato da chama com o ar disponível na parte mais baixa e o material inflamável aquecido na parte superior, pode ocasionar o chamado *flameover* ou *rollover*, que é a propagação da chama apenas em uma camada que intersecciona os fatores. Se isto ocorrer, há um acréscimo de temperatura e maior taxa de propagação (DE HAAN, 2007).

Ainda conforme De Haan (2007), quando a temperatura da camada superior gera um fluxo de calor de 20 KW/m² ao nível do chão (com temperatura aproximada de 600° C), é atingida a temperatura de ignição dos resíduos em suspensão (fumaça), fazendo com que todo o ambiente seja envolvido por chamas e entre em combustão. Quando acontece esse aumento abrupto do calor no ambiente, dá-se início a outro fenômeno chamado *flashover*.

O *flashover* marca a transição em que o incêndio passa a ser controlado pelas condições de ventilação e pela geometria do edifício (QUINTIERE, 1998).

DeHaan (2007), mostra que a *Fire Research Station*, um grupo de pesquisadores americanos na área de segurança contra incêndio fez um ensaio em escala real incendiando em ambiente sala de estar de uma residência popular, constatando que o *flashover* foi atingido aos 11 minutos após a ignição, com taxa máxima de liberação de calor de 5,2 MW, conforme figura 11, liberando então chamas para o exterior do compartimento. Cita ainda, que com aproximadamente 2 MW, as chamas na camada superior de fumaça não se mantêm, começando a ficar contínuas a partir de 2,5 MW.

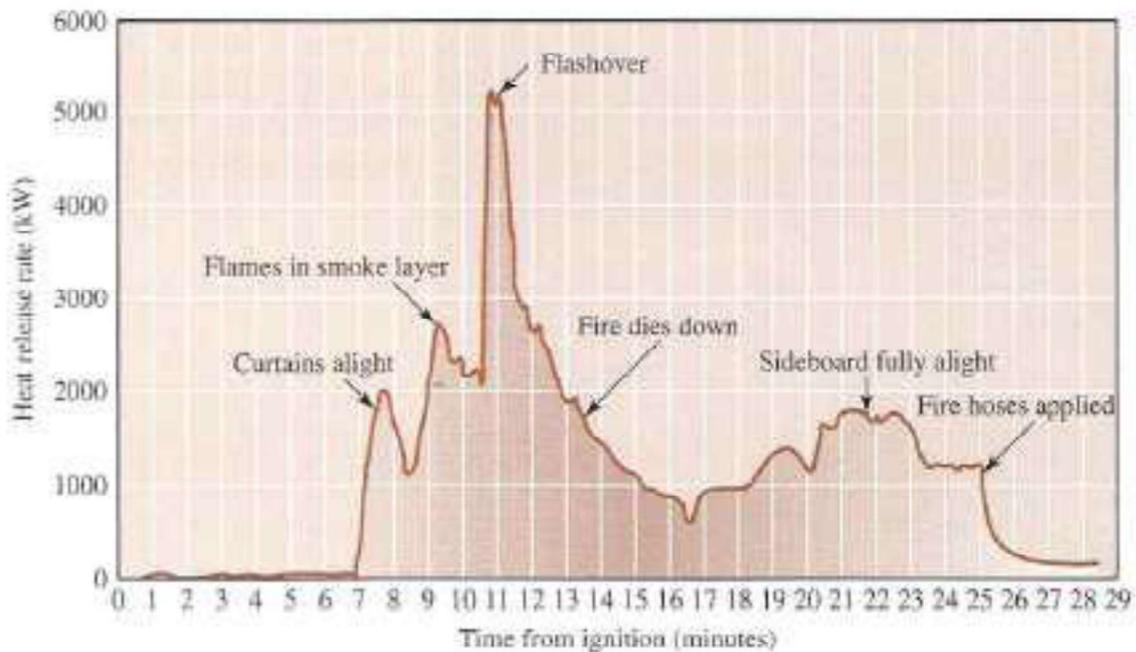


Figura 11: curva de liberação de calor de uma sala de estar incendiada. (Fonte: DeHaan, 2007)

Ainda segundo DeHaan (2007), a *California Bureau of Home Furnishings and Thermal insulation* (s.d.) apud De Haan (2007), realizou testes em escala real, incendiando um dormitório, onde constataram o flashover aos 18 minutos e uma taxa máxima de 3,9 MW, como mostrado na figura 12.

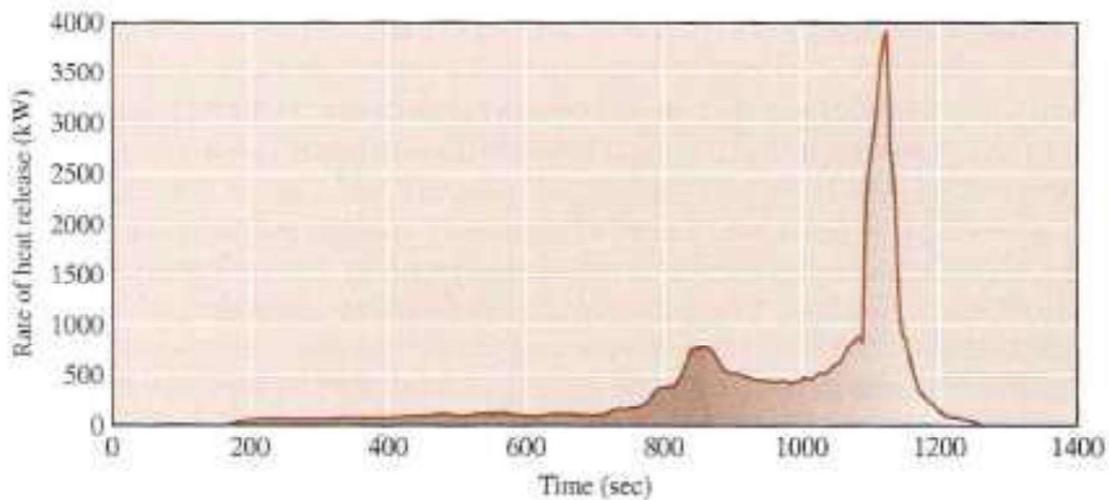


Figura 12: Curva de liberação de calor de um dormitório. (Fonte: DeHaan, 2007)

Neste ponto, o controle das chamas está condicionado a uso de técnicas de ventilação, porém essa ação aumenta a possibilidade de extensão das chamas verticalmente.

Marcelli (2007), diz que os gases combustíveis aquecidos, que não queimam por falta de oxigênio no ambiente confinado, ao encontrarem uma abertura externa, ignizam-se formando labaredas, responsáveis pela propagação vertical do fogo.

A fase final ou resfriamento ocorre quando há pouca disponibilidade de combustível, temperatura em queda e quando grande parte do oxigênio já foi consumido durante o incêndio. Nesta fase é possível que o incêndio se reestabeleça caso haja entrada de oxigênio no ambiente, pois ainda existem gases quentes e fumaça no local.

2.2.3 Sistemas de Segurança contra Incêndio e Pânico

Os sistemas de combate a incêndio são dimensionados de acordo com o risco de cada edificação, devendo o projetista adequar de acordo com as diretrizes normativas de cada estado ou federação.

Além dos sistemas de combate a incêndios, deve haver uma preocupação com a prevenção destes para que não ocorram. Sendo assim, há a necessidade de se diferenciar os conceitos de ações de prevenção e as medidas de proteção contra incêndios.

Segundo Ono (2008), ações de prevenção destinam-se a evitar que os incêndios ocorram, enquanto ações de proteção têm a função de salvaguardar a integridade do patrimônio e da vida durante o desenvolvimento do incêndio.

Para Gill *et al.* (2008), prevenção são as medidas que limitam os materiais combustíveis e as fontes de calor para que o incêndio não ocorra, enquanto as medidas de proteção procuram restringir a propagação do fogo e manter a estabilidade estrutural.

Para proteção contra incêndios, tem-se duas terminologias principais que é proteção ativa e passiva de sistemas de incêndios.

A proteção ativa é constituída por meios (equipamentos e sistemas) que precisam ser acionados, quer manual ou automaticamente, para funcionar em situação de incêndio. Ela visa a rápida detecção do incêndio, o alerta dos usuários do edifício para a desocupação e às ações de combate com segurança. São exemplos de meios de proteção ativa: sistema de alarme manual de incêndio (botoeiras); meios de detecção e alarme automáticos de incêndio (detectores de fumaça, temperatura, raios infravermelhos, etc., ligados a alarmes automáticos); extintores; hidrantes; chuveiros automáticos (sprinklers); sistema de iluminação de emergência; sistemas de controle e exaustão da fumaça; etc. (ONO, 2004 *apud* COSTA, 2005).

A proteção passiva contra incêndio, para Marcatti *et al.* (2008), é constituída por meios de proteção incorporados à edificação e que não requerem nenhum tipo de acionamento para o seu funcionamento em caso de incêndio. Os exemplos de proteção passiva são as sinalizações de emergência, sistema de proteção contra descargas atmosféricas, sistemas de detecção de incêndio, compartimentação vertical e horizontal, entres outros.

Quando se aborda acerca de compartimentação de incêndio têm-se normas similares no Brasil. No Espírito Santo (ES), a Norma Técnica 11 estabelece os parâmetros a serem observados para a compartimentação horizontal e compartimentação vertical, exigida pela Legislação de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Estado do ES.

A compartimentação de áreas é uma medida de segurança contra incêndio classificada como proteção passiva, constituída de elementos de construção resistentes ao fogo cujo objetivo é evitar ou minimizar a propagação de fogo, calor e gases, interna ou externamente à edificação, no mesmo pavimento ou entre pavimentos consecutivos (ABNT NBR 13860:1997).

A compartimentação horizontal pode ser obtida por meio do uso de elementos construtivos como portas corta-fogo, selos corta-fogo, e afastamentos entre aberturas horizontais. Quando se trata de compartimentação vertical, os elementos alteram, porém, a dinâmica de proteção se mantém. São exemplos de elementos verticais, entre pisos corta-fogo, enclausuramento de escadas com uso de parede, registros corta-fogo, cortina corta-fogo, entre outros.

A compartimentação vertical é obtida quando cada pavimento atua como um compartimento isolado em relação aos demais, impedindo a propagação do incêndio (ONO, 2008).

Os objetivos da compartimentação para confinar o incêndio em uma habitação ou conjunto de habitações em geral são os de segregar um espaço que tenha um nível de risco mais elevado que a zona circundante, para assim reduzir ao mínimo o risco de perdas que podem sofrer os ocupantes de um local devido ao incêndio em outro espaço fora de sua área de controle (NFPA, 1987).

Para Rosso (1975), a compartimentação vertical destina-se a confinar o fogo no pavimento atingido e evitar a sua propagação, em sentido vertical, para o sucessivo. Esta propagação do fogo e a severidade do incêndio dependem dos seguintes fatores: da quantidade de combustível, da área de ventilação, da altura do compartimento (pé-direito), do vento e dos materiais combustíveis dos compartimentos adjacentes expostos à chama e ao calor.

De acordo com o *Fire Protection Handbook* (NFPA, 1987), a compartimentação oferece uma vantagem adicional porque limita o tamanho do incêndio, reduz a quantidade de fumaça produzida e facilita a extinção. A compartimentação devidamente projetada e instalada, tem conseguido limitar o incêndio em seu lugar de origem. Se uma habitação está compartimentada, a ventilação provavelmente não será suficiente para que o incêndio prospere, a não ser que tenha uma janela aberta ou outro tipo de abertura que proporcione condições de propagação.

Quando a compartimentação for adequadamente projetada, construída e mantida, tendo aberturas protegidas, ela deverá ser capaz de conter incêndios de severidade máxima em qualquer tipo de ocupação (MARCATTI *et al.*, 2008).

Entre os exemplos de compartimentação, a NT 11 (CBMES, 2010) apresenta a relação verga-peitoril onde indica a distância mínima entre pavimentos, considerando a distância

entre a verga da unidade inferior e o peitoril da unidade superior, considerando que esses dois elementos terão suas estruturas resistente ao fogo por até 2 horas.

Na figura 13, o esquema apresenta como a compartimentação ocorre quando a separação for provida por meio de vigas ou parapeitos, sendo que estes devem apresentar altura mínima de 1,2m separando aberturas de pavimentos consecutivos.”

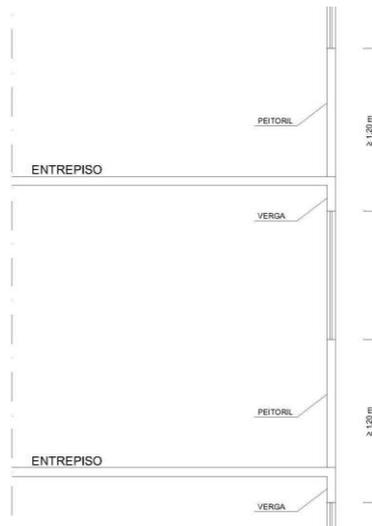


Figura 13: exemplo de compartimentação vertical (verga-peitoril). (Fonte: NT 11/2010 – CBMES (2010))

A figura 14 mostra quando a separação for provida por meio dos prolongamentos dos entrepisos, que as abas devem projetar-se, no mínimo, 0,90m além do plano externo da fachada.

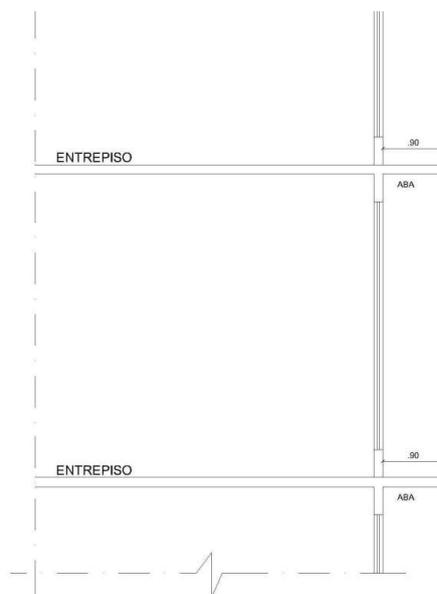


Figura 14: exemplo de compartimentação vertical (abas). (Fonte: NT 11/2010 – CBMES (2010))

Em edifícios residenciais existe ainda a possibilidade de usar dois elementos para fins de compartimentação vertical, podendo somar parte do teto da varanda e a distância da verga até o piso da laje superior, conforme demonstra a figura 15.

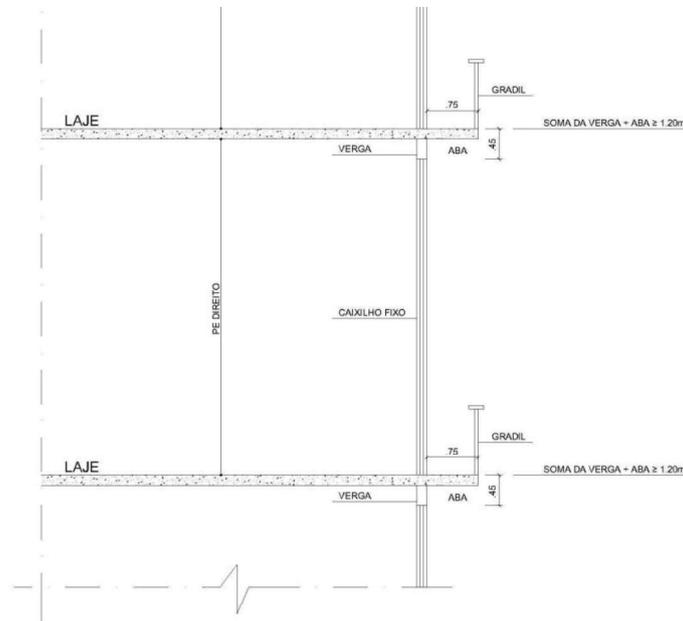


Figura 15: exemplo de compartimentação vertical em edificações com risco baixo (composição entre aba e verga peitoril). (Fonte: NT 11/2010 – CBMES (2010))

2.2.4 Carga de incêndio

A carga de incêndio é um dos principais fatores que influencia na adoção de medidas de segurança e na forma de propagação do incêndio. Para fins de dimensionamento das medidas de segurança, a carga de incêndio aparece como protagonista das legislações brasileiras que adotam a ABNT NBR 14432/2001 que disserta acerca do tema.

Para Assis (2001), citado por Rodrigues (2009, p. 31), a severidade de um incêndio depende da carga de incêndio e sua natureza, da ventilação do ambiente, da existência de medidas ativas de proteção, de fatores externos e da geometria da edificação.

Carga de incêndio é a disponibilidade de materiais, seja móveis ou fixos, que compõe o ambiente e são determinantes para a severidade do incêndio.

Segundo Marcatti et al. (2008), carga de incêndio é a medida do calor máximo que seria liberado se todos os combustíveis em determinada área queimassem. A máxima liberação de calor é produto do peso de cada combustível multiplicado pelo seu potencial

calorífico. Em um edifício típico, a carga de incêndio inclui mobiliário, acabamento interno, acabamento do piso e elementos estruturais.

A tabela A da NT 04 classifica os riscos de acordo o risco de incêndio e a carga de incêndio da edificação, conforme apresenta a tabela 1.

Tabela 1: tabela A Classificação quanto ao risco de incêndio (Fonte: Norma Técnica 04 de 2020 do CBMES)

Risco	Carga de incêndio específica (MJ/m²)
Baixo	$q_{fi} \leq 300 \text{ MJ/m}^2$
Médio	$300 < q_{fi} \leq 1200 \text{ MJ/m}^2$
Alto	$q_{fi} > 1200 \text{ MJ/m}^2$

Para tanto, existe a possibilidade deste índice variar para mais ou para menos, pois os dados apresentados são de cargas de incêndio medidas de acordo com um padrão definido da edificação que inclui tipo de uso, população, possíveis materiais fixos ou móveis e seu poder calorífico.

2.3 Programas de Simulação Computacional de Incêndio

A realização de simulações para comprovação de teorias que produzam conhecimentos técnicos tem grande validade para fins científicos e práticos. Os resultados que advêm destas simulações podem servir para comprovar ou não teses e assim ajudar a produzir normas mais eficazes a partir do conhecimento técnico científico.

O incêndio é um fenômeno que interage com diversos fatores ambientais, existindo também uma grande variabilidade de cenários, por isso, mesmo que os parâmetros sejam definidos – tais como carga de incêndio, ventilação, velocidade e direção do vento

–, não há perspectivas iniciais no ensaio prático para estimar como a propagação irá se desenvolver; como será a distribuição das temperaturas no compartimento; qual será o movimento da fumaça ou, ainda, a concentração dos gases, para que os ensaios sejam dimensionados proporcionalmente e realizados apenas o número de vezes necessárias, sem gastos excessivos (RODRIGUES, 2009).

O *Fire Dynamics Simulator* - FDS é um simulador de incêndio livre desenvolvido pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*) baseado na *computational fluid dynamics* (CFD). Este simulador utiliza a equação de *Navier-Stokes* para baixas velocidades, com fluxo termicamente orientado e com ênfase em transporte de calor e fumaça. Neste tipo de modelação podem ser avaliadas a dinâmica de um incêndio e a movimentação da fumaça. A radiação térmica é obtida através da utilização da técnica de volumes finitos (MCGRATTAN *et al.*, 2013).

Dentro do NIST, existe a Divisão de Pesquisa de Incêndio que produz e publica cientificamente em larga escala, teorias e práticas de engenharia de proteção à incêndio, sendo um laboratório referência com intensa participação na elaboração de códigos e normas (CARLO, 2008).

No ano de 2000 o NIST apresenta a ferramenta de avaliação *Fire Dynamics Simulator* – FDS, que permite realizar simulações que ajudavam a elucidar incêndios e como ferramenta que auxiliava pesquisadores na revisão e criação de normas relativas à segurança de incêndio.

Este *software* é direcionado pelas equações da dinâmica dos fluidos para simular a propagação do fogo, do calor e da fumaça, criando modelos computacionais da dinâmica do incêndio (CFD) que permitem descrever os sinistros em geometrias complexas, incorporando uma grande variedade de fenômenos físicos (MCGRATTAN *et al.*, 2008).

Outro programa utilizado em paralelo com o FDS, é o *Pyrosim* que faz a interface gráfica para modelar no FDS. O *Pyrosim* é utilizado para inserção das geometrias do projeto, materiais e suas propriedades, fases do incêndio e outras dinâmicas que facilitam o uso posterior do FDS. Este *software* cria linhas de códigos que podem ser processadas pelo *Fire Dynamic Simulator* (FDS) gerando as informações que foram solicitadas na modelagem.

Nilsson *et al.* (2018) afirmam que os modelos gerados pelo Pyrosim/FDS são considerados adequados como uma ferramenta de simulação de propagação externa de incêndios em fachadas constituídas de materiais não combustíveis.

Mc Grattan *et al.* (2008), o FDS tem indicado soluções práticas para a engenharia de proteção contra incêndios, ao mesmo tempo que é uma ferramenta fundamental para o estudo da dinâmica das combustões, elucidando os seguintes fenômenos:

- a) transporte de calor e dos produtos da combustão em um incêndio;
- b) transferência de calor por radiação e convecção entre o gás e as superfícies sólidas;
- c) pirólise dos materiais;
- d) propagação das chamas e desenvolvimento do incêndio;
- e) ativação dos chuveiros automáticos, detectores de calor e de fumaça;
- f) eficiência dos chuveiros automáticos na contenção das chamas.

O programa também permite verificar se o projeto arquitetônico da edificação foi negligente quanto à segurança contra incêndio ou se há falha nos sistemas de detecção e supressão, o que permitiria mudanças necessárias nas normas e códigos de proteção contra incêndio e pânico para evitar que um incêndio similar não aconteça no futuro (BRAGA; LANDIM, 2008).

2.3.1 Estudos Gerais Utilizando o FDS

No âmbito mundial, diversos estudos usando o FDS foram realizados a fim de simular o comportamento do incêndio em edificações.

Os estudos publicados sobre a propagação das chamas em edificações verticais têm registros na década de 60 do século passado, através de ensaios em escalas real, que buscavam verificar como e quando as chamas evoluíam ao ponto de transpor para o andar superior, analisando temperatura, velocidade e geometria das aberturas.

Yokoi (1960) *apud* Rosso (1975) concluiu em suas pesquisas que as chamas que saem pela janela apenas terão efeito considerável para a propagação vertical direta do incêndio quando excederem 500°C, bem como as temperaturas da pluma que atingem externamente o pavimento superior serão menores ou no máximo iguais a este valor,

sendo capazes de propagarem o fogo, mas não de comprometerem a resistência ao fogo dos elementos construtivos externos.

Segundo pesquisas do *Experimental Building Station apud Rosso (1975)*, há uma relação entre o pé-direito e a geometria das janelas, a qual estabelece que com forros baixos e janelas estreitas, há a deflexão das chamas afastando-as da fachada, o que não ocorre com janelas largas e forros altos.

Chen *et al.* (2006) realizaram simulações utilizando a terceira versão do *Fire Dynamics Simulator*, no qual desenharam três compartimentos sobrepostos para verificarem o comportamento da propagação vertical com a colocação de varandas e quais configurações destas preveniria tal propagação. Neste experimento a proposta foi utilizar sacadas como forma de retardar a propagação do incêndio.

Ainda, Chen *et al.* (2006) contextualizam que a propagação vertical pode ocorrer por três formas: a parede externa igne por ser combustível; os pavimentos superiores são incendiados pelo contato direto da chama do compartimento abaixo sinistrado; e os combustíveis de fácil ignição absorvem o calor irradiado pela chama externa ejetada pela janela do pavimento inferior, incendiando-se.

De Haan (2007), afirma que a fumaça quente e a chama podem ser empurradas contra a parede e janela do andar acima consecutivo, principalmente se não houver projeção horizontal na fachada, e que mesmo após o afastamento da pluma, esta volta a entrar em contato com a parede, conforme figura 29, sendo este mecanismo responsável pela propagação do incêndio em prédios altos. Ainda complementa que o fluxo total de calor na parede ou janela acima, na fase pós-flashover, fica entre 80 e 120 kW/m², bem acima dos 20 kW/m² necessários para quebrar um vidro comum ou dos 40 kW/m² suficientes para iniciar as chamas na maioria dos materiais.

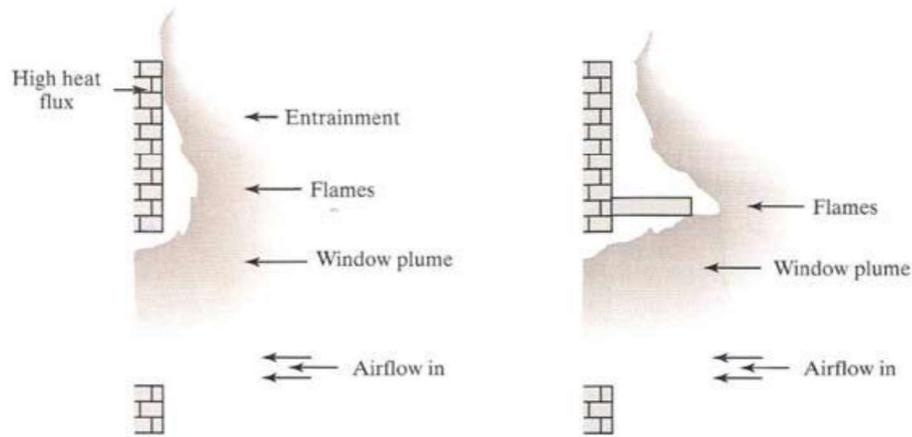


Figura 16: Desenho esquemático do afastamento da chama ejetada pela janela devido a presença de projeção horizontal. (Fonte: DeHaan, 2007)

Para a radiação, é apresentada na tabela 2, uma forma simplificada com as taxas de liberação de calor e os efeitos térmicos gerais nos materiais e na pele humana, baseadas na relação de Stefan-Boltzmann.

Tabela 2: Efeitos da radiação térmica nos sólidos (madeira, plásticos) e pele humana. (Fonte: ASTM E1321(1997): Standard Test Method for Determining material ignition and flame spread properties apud DeHaan (2007))

Fonte	Fluxo de calor por radiação (kW/m ²)	Temperatura da superfície (°C)	Efeitos observados
Sol durante o verão	1	40	Sem efeitos
Distante de um incêndio	2 a 4	45	Dor após 30 segundos
Próximo de um incêndio	4 a 6	54	Dor após 10 segundos
Muito próximo de um incêndio	10	100 a 200	Chamuscamento de alguns materiais; Derretimento (fusão) de alguns plásticos.
Junto do incêndio	20	200 a 300	Alguns materiais celulósicos e sintéticos ignem em menos de 60 s
Dentro do incêndio	30	300 a 400	Autoignição de muitos materiais entre 0-30 segundos (madeira em >60 s)
Junto às chamas	50	400	Autoignição de todos os materiais
Pós-flashover	120 a 150	> 500	Combustão rápida

Yuen *et al.* (2014) realizaram experimentos no FDS a fim de orientar os bombeiros australianos no combate a incêndio em edifícios residenciais. Para isso, determinaram as cargas de incêndio para o ambiente a partir da literatura existente e simularam em um modelo experimental antes de transpor para o FDS, onde realizaram simulações para melhor compreensão da evolução do fogo. Os testes serviram para melhorar a atuação dos bombeiros e analisar a dinâmica do incêndio, fluxo de calor, movimento da fumaça e outras características do ambiente incendiado. Nas figuras 20 e 21 podem ser vistas as imagens comparativas dos testes reais e no FDS da proposta dos autores.

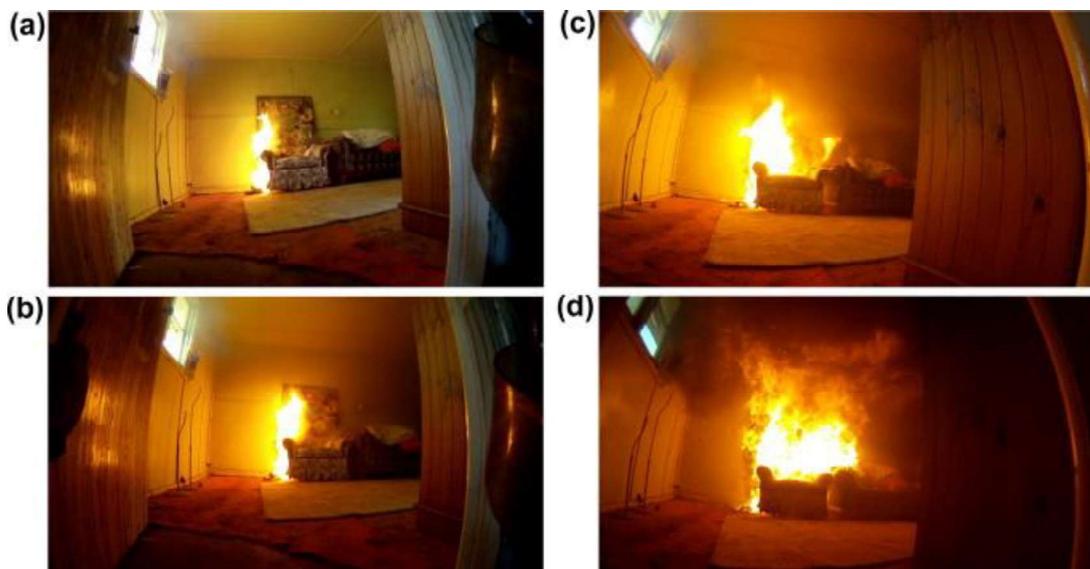


Figura 17: Cena de incêndio em sofá tomada pela câmera da porta em (a) 102, (b) 136, (c) 170 e (d) 202 segundos após a ignição. (Fonte: Yuen *et al.* (2014))

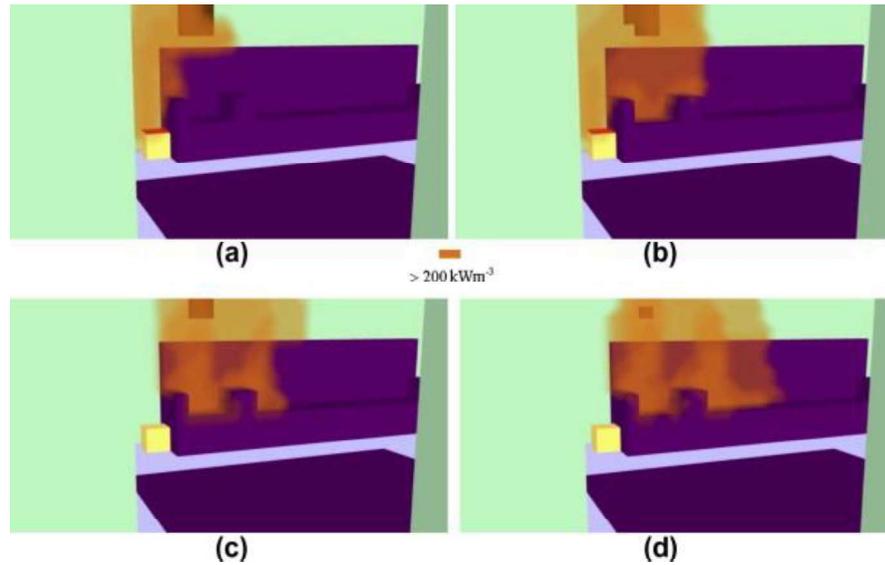


Figura 18: Visualização da propagação do fogo no sofá no Smokeview indicada pela taxa de liberação de calor por unidade de volume no tempo de simulação de (a) 101,7, (b) 135,9, (c) 170,1 e (d) 201,6 segundos. (Fonte: Yuen et al. (2014))

Pesic et al. (2017) analisaram os resultados da simulação em um edifício residencial a fim de verificar acerca das distâncias mínimas de separação entre as edificações para que pudessem contrapor ou não a legislação vigente na Sérvia. O estudo mostra a propagação das chamas em um pavimento e a análise do movimento da propagação das chamas para o pavimento superior pela fachada e para edificações próximas, através de aberturas pré-determinadas. Na figura 22, pode ser observado que as chamas se desenvolvem verticalmente atingindo a edificação superior.

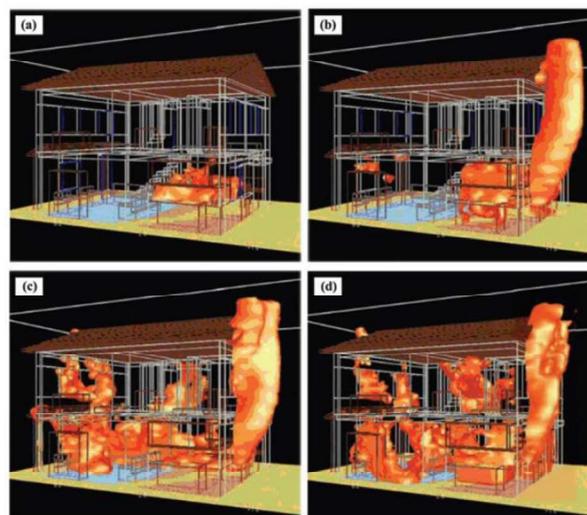


Figura 19: Evolução das chamas no modelo. (Fonte: Pesic et al. (2017))

Como resultado, foi visto que a distância mínima obrigatória era insuficiente para evitar a propagação das chamas para a edificação vizinha, como é mostrado na figura 23. Na simulação foram feitos testes com algumas distâncias, sendo que a única que obteve êxito foi acima do limite da norma vigente, que era de 4 m. Com isso, foi atestado que havia necessidade de propor alterações normativas a fim de promover mais segurança para o usuário da edificação e seus bens.

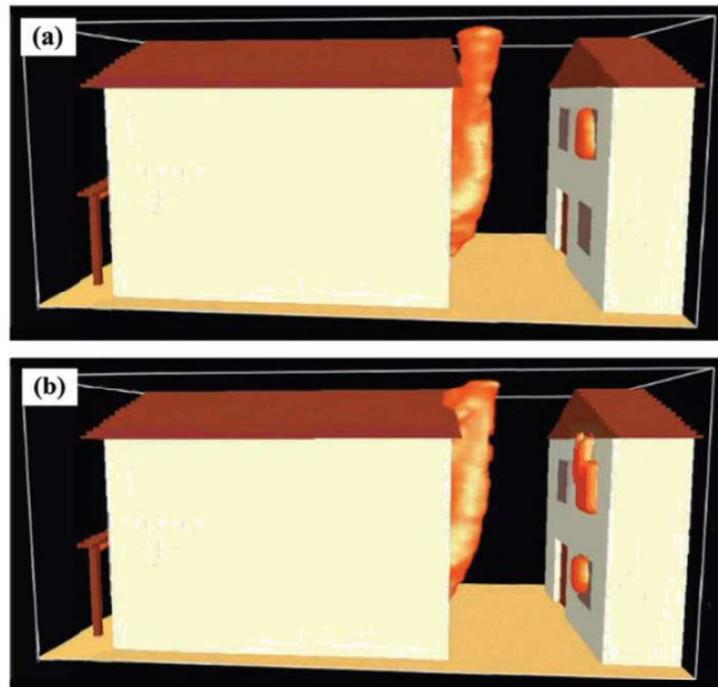


Figura 20: Propagação do fogo para uma distância de separação de 4 m. (Fonte: Pesic et al. (2017))

Ahn et al. (2018) simularam o incêndio em edificações verticais de diversas alturas e tamanhos. O objetivo era verificar qual a influência da temperatura, velocidade e pressão da fumaça nos modelos propostos frente as medidas do edifício ou compartimento incendiado. Neste trabalho houve indicação de quanto menor o edifício, maiores são os danos causados pela movimentação da fumaça pelo prédio.

Drean et al. (2018) também buscou analisar o quanto a temperatura da fachada das edificações poderiam ser elementos isolantes ou retardantes das chamas em casos de incêndios. O uso do FDS neste estudo foi determinante para constatar que o uso de materiais inadequados pode contribuir na proporção do incêndio pela fachada da edificação. No ano seguinte, Drean et al. (2019) apresentaram um estudo que simulou o dramático incêndio no prédio Torre Grenfell em Londres, Reino Unido. O edifício era revestido de um material na fachada que contribuiu para a rápida evolução das chamas

por todo o prédio. O uso do FDS nas simulações foi determinante para análises das temperaturas na fachada do prédio e a evolução da fumaça durante o sinistro.

Pelo exposto, pode ser constatado que o uso de programas de simulação de incêndios pode contribuir para análise das causas do incêndio a fim de melhorar as normas de segurança, orientar profissionais que atuam no combate às chamas e avaliar se os materiais utilizados na construção civil estão adequados no que tange a segurança contra incêndio e pânico.

No Brasil, diversos autores buscaram através da simulação computacional de incêndios analisar o comportamento das chamas durante o sinistro. Para Rodrigues (2009), as normas vigentes para compartimentação estavam defasadas, tendo a necessidade de reavaliar os índices de compartimentação vertical do incêndio através de testes que pudessem comprovar a eficácia das legislações vigentes. O autor realizou ensaios em escala reduzida de uma edificação e por meio do FDS, a fim de avaliar os efeitos do incêndio em fachadas e sua propagação vertical para outros pavimentos. Na figura 24, pode ser observado que as chamas são retidas com o uso de projeções horizontais nas aberturas, reduzindo o fluxo de calor para o pavimento superior.



Figura 21: Ensaio sem e com projeção horizontal mostrando o “rebaixamento” das chamas ejetadas pela janela com configuração larga. (Fonte: Rodrigues (2019))

No FDS o mesmo ensaio foi repetido a fim de validar as condições expostas no modelo em escala reduzida, como pode ser visto na figura 25.

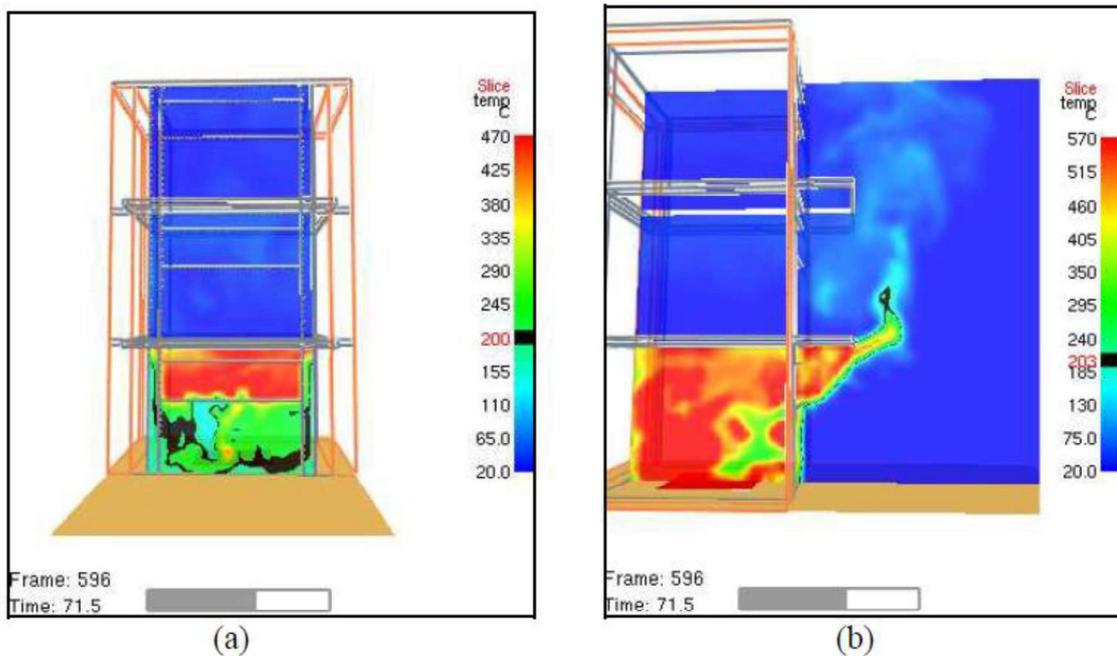


Figura 22: Visualização da simulação por meio do FDS. (Fonte: Rodrigues (2019))

Os resultados mostraram que as distâncias mínimas estabelecidas pela norma de compartimentação eram favoráveis para a redução da dissipação das chamas verticalmente e o uso de projeções horizontais nas aberturas se mostraram eficientes na redução da exposição das chamas no incêndio.

Andrade (2018) analisou normas de compartimentação em cinco países diferentes para verificar através de simulações computacionais a segurança contra incêndios em cada país e sua validação para fins de segurança. Os estudos por meio do FDS possibilitaram mostrar que o programa pode ser usado como parâmetro para alterações normativas ou até na elaboração de normas mais rigorosas na área de incêndios.

Para Pereira (2020) o uso do FDS foi aplicado em simulações de incêndio em ambientes comerciais, onde buscou-se analisar propagação horizontal das chamas em ambientes com cargas de incêndios distintas e configurações que não atendiam as normas vigentes de compartimentação horizontal, servindo assim para confirmar que as normas atuais precisam ser reformuladas e fiscalizadas pelo Corpo de Bombeiros.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho buscou através do método de simulações objetivando verificar a efetividade da norma de compartimentação de incêndio em situações específicas, como em varandas envidraçadas que é o objeto de estudo desta pesquisa.

A análise dar-se-á entre dois pavimentos consecutivos, simulando um incêndio no pavimento inferior se propagando para o superior. Para a simulação basta esses dois pavimentos, pois o comportamento das chamas que deve ser verificado é a transição das chamas no sentido vertical para a unidade imediatamente superior. Em uma situação real essa dinâmica se repete para os pavimentos superiores, não influenciando a quantidade de andares da edificação e sim o encontro de elementos que proporcionem a queima de materiais combustíveis.

Para este trabalho busca-se a confirmação ou não da influência da varanda envidraçada na evolução do incêndio em edifícios verticais, usando uma ferramenta de simulação computacional que permita chegar a um resultado que possa servir de base para proposições de aprimoramentos nas normativas existentes. Para a simulação será modelado dois pavimentos com varandas envidraçadas, com carga de incêndio definida para as duas varandas. A simulação dar-se-á na varanda inferior em dois cenários distintos.

No primeiro cenário, será avaliado o tempo de rompimento da barreira entre as duas varandas que não possuem envidraçamento. Neste caso, a porta de acesso à varanda aberta será considerada como a barreira a ser rompida, permitindo que a fumaça e o calor se propaguem para o pavimento superior, que apresentará as mesmas condições arquitetônicas da varanda incendiada.

Já no segundo cenário, as arquiteturas das duas varandas serão mantidas, porém com o envidraçamento instalado. Neste caso, os mesmos critérios citados no cenário anterior serão utilizados para análise, a fim de determinar o tempo de rompimento da barreira e a propagação da fumaça e calor para o pavimento superior. Com isso, torna-se viável realizar uma análise mais precisa dos impactos decorrentes do envidraçamento, o que confere maior credibilidade ao estudo.

A escolha do modelo experimental para o estudo de caso foi feita com base nos índices mínimos previstos na norma de compartimentação de incêndio do CBMES.

A figura 17 mostra o esquema gráfico detalhado da dinâmica do trabalho e suas fases citadas anteriormente.

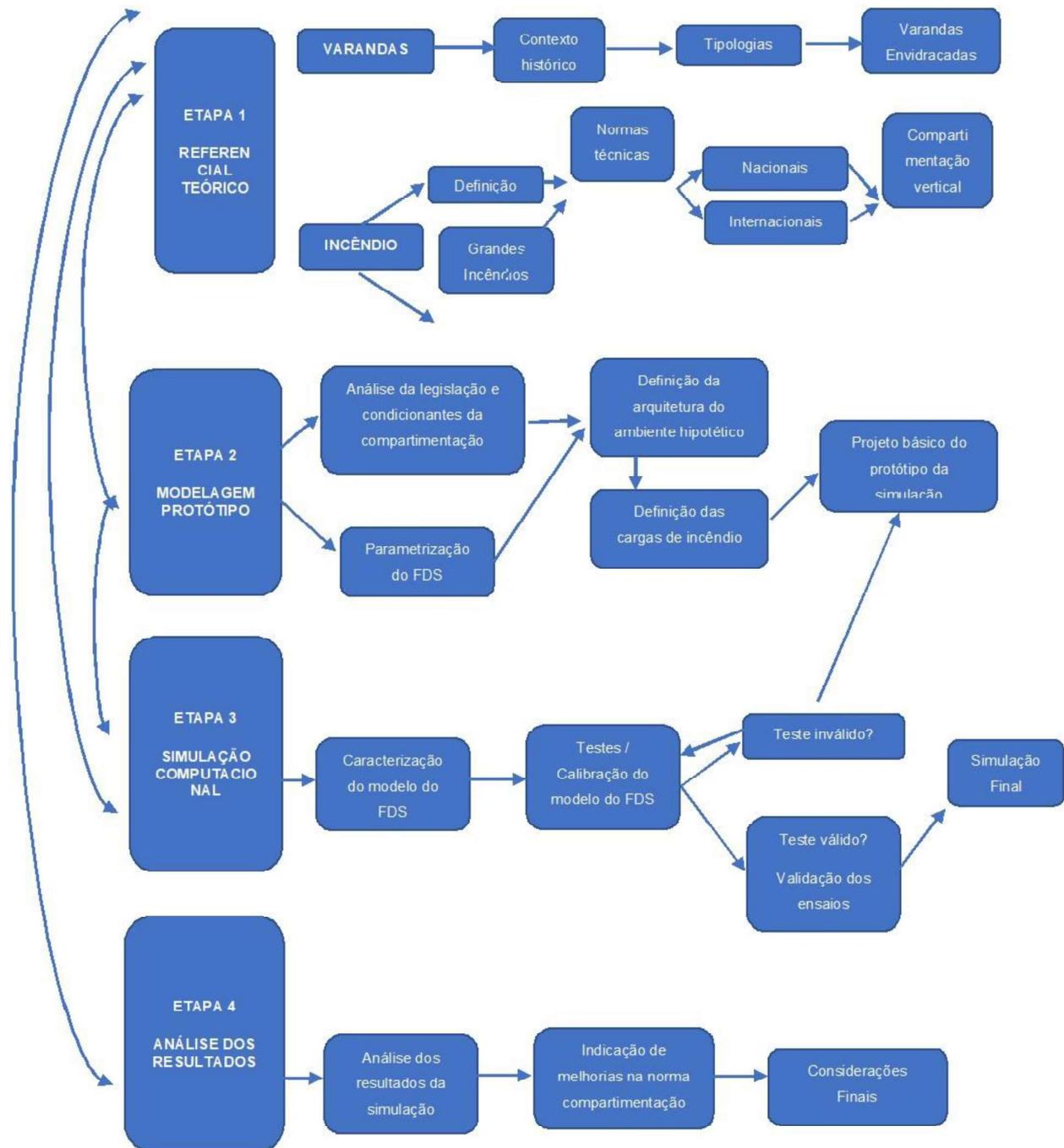


Figura 23: fluxograma do processo metodológico empregado no presente trabalho. (Fonte: o autor)

O procedimento metodológico para o desenvolvimento da pesquisa foi dividido, conforme esquema gráfico detalhado na figura 17, em quatro fases principais: na etapa 1 são relacionados os estudos que servem como base do referencial teórico acerca das varandas e suas evoluções ao longo do tempo e as normas técnicas referente a segurança contra incêndio e pânico; na etapa 2, são definidos os parâmetros básicos para a modelagem do protótipo a ser estudado, tendo como base a etapa 1 onde foram analisados os parâmetros normativo acerca do incêndio e das normas de técnicas; a etapa 3 se inicia com os testes de calibração do modelo, onde são feitas diversas simulações a fim de verificar a validade ou não do modelo a ser estudado para então executar a simulação final; na etapa 4 os dados são analisados com base nos estudos coletados na etapa 1, para que possa ser analisado se os resultados obtidos contrariam ou não a norma de compartimentação de incêndio para varandas envidraçadas. Por fim, as análises podem indicar a necessidade de alteração normativa frente a nova propostas de uso das varandas em edificações verticais e ser usada em outros estudos correlacionados.

3.1 Configuração de dados FDS

A simulação não traz em si todas as respostas sobre os incidentes, pois é apenas mais uma ferramenta, mas a sua utilização em conjunto com o conhecimento em engenharia de proteção contra incêndio e com a aplicação de métodos científicos de investigação, faz com que possam ser obtidos resultados bem consolidados (BRAGA E LANDIM, 2008).

Luz (2017) afirma que a simulação computacional através do software *Pyrosim/FDS*, teve resultados condizentes com a situação de incêndio real, possibilitando a visualização dos resultados em formato gráfico, facilitando a análise dinâmica do evento, reforçando que os resultados obtidos por simulações numéricas auxiliem no desenvolvimento de técnicas ativas e passivas de proteção contra incêndio em edificações.

Apesar das grandes potencialidades do software FDS, originalmente, a entrada de dados era complexa. Frente a essa situação a empresa *Thunderhead Engineering* desenvolveu o software denominado *Pyrosim*, que é uma interface gráfica, na qual o usuário pode

alterar a unidades de medida, utilizar recursos de criação de elementos 2D e 3D, importar arquivos de outros softwares de desenho gráfico, fornecendo uma entrada de dados compatível com o FDS versão 6.7.4 (THUNDERHEAD ENGINEERING, 2020).

As simulações são realizadas no FDS / Pyrosim e foram divididas nas seguintes etapas: simulação e verificação das condições de compartimentação vertical em edificações verticais atendendo as prescrições na NT 11 (CBMES, 2010); e simulação nas varandas com percentuais de aberturas diferentes a fim de avaliar se existe aumento de risco de propagação do incêndio;

Para parametrizar o modelo no FDS, as seguintes etapas foram realizadas:

- a. Condições de contorno – definir os parâmetros definidos pelo software como tipo de uso da edificação, carga de incêndio, taxa de liberação de calor, arquitetura do ambiente, afastamento entre as varandas, dentre outros.
- b. Simulação teste – reproduzir com base na norma de compartimentação de incêndio, a varanda aberta que será usada na simulação no FDS para que possa ser verificado se as condições impostas na norma são suficientes para retardar a propagação do incêndio.
- c. Simulação na amostra – por meio do FDS simular em uma varanda envidraçada se as condições de tempo de propagação de incêndio são atendidas ou se haverá aumento na velocidade de propagação do incêndio verticalmente.
- d. Análise dos resultados das simulações – comparar os resultados obtidos nas simulações a fim de avaliar se a varanda envidraçada pode ser um risco na propagação de incêndio vertical e caso haja aumento de risco, indicar propostas de alteração na norma de compartimentação de incêndio vigente no CBMES.

Para o experimento, foi utilizada a 6ª versão do software Fire Dynamic Simulator (FDS 6.7.5), instalado em um computador com processador Intel(R) Core(TM) i7-10510U, CPU 1.80GHz, 2.30 GHz, memória RAM de 16 GB.

O programa inclui no pacote de instalação o *SmokeView* (SMV), que reproduz em forma de animação os códigos criados no FDS, tais como fumaça, chamas e as interferências no modelo a ser estudado.

O FDS não dispõe de interface gráfica, assim, os dados de entrada são inseridos pelo usuário através de linhas de comando em um único arquivo de entrada, através de um editor de texto que deve conter as informações do modelo, tais como: título da simulação, dimensões do domínio computacional, divisões da malha, tempo de simulação, condições iniciais do ambiente, propriedades dos materiais combustíveis e incombustíveis, condições de combustão dentre outros. O programa entende como comando os caracteres escritos entre os símbolos “&” e “/”, cujos dados necessários para a análise são especificados no arquivo de entrada usando uma lista de comandos com formatos pré-definidos em sua programação (namelist) (McGRATTAN et al., 2017a). A Figura 18 mostra um exemplo simples de entrada de dados no FDS através de um arquivo de bloco de notas.

```

&HEAD CHID= 'Borges04' TITLE= ' BORGES 04' / (comando inicial com
nome do arquivo e titulo)
&TIME T_END=30 / (tempo de cálculo = X)
&MISC TMPA=27 / (Mudar temperatura)

&MESH ID='DOMÍNIO 01' XB= 0,3.2, -2,5.2, 0,6, IJK= 32, 72, 60,
COLOR=GREEN / (Domínio computacional nos eixos XYZ e precisão de
cada um dos eixos) precisão de 10

&SURF ID='tijolo' , COLOR ='RED' , MATL_ID='tijolo' , THICKNESS=
0.1 , DEFAULT=TRUE , TRANSPARENCY=0.5 / Escolhendo cor por numeral
Red Green Blue
&SURF ID='vidro' , COLOR ='BLUE' , TRANSPARENCY=0.30 / VIDRO AZUL
COM TRANSPARENCIA
&MATL ID='tijolo' , CONDUCTIVITY= 0.69, SPECIFIC_HEAT= 0.89,
DENSITY= 1600 / Especificações do tijolo (tem como retirar para
cálculo ficar mais leve)

&MATL ID='vidro' , CONDUCTIVITY= 1.049, SPECIFIC_HEAT= 0.837,
DENSITY= 2300/ CONFERIR ESSES DADOS!!!!
https://thermtest.com/thermal-resources/materials-database

&SURF ID='Fogo', HRRPUA= 1500 , COLOR='RED' / TAXA DE LIBERAÇÃO DE
CALOR
&REAC ID='PROPANE', SOOT_YIELD=0.03, / Reação do tipo de queima
(propano) e taxa de fuligem
&VENT XB= 1,1.5, 1,1.5, 0,0, SURF_ID='Fogo' / lugar do fogo e sua
dimensão de queima

```

Figura 24: Exemplo de dados de entrada do FDS. (Fonte: o autor)

Ao final da criação do arquivo de entrada o usuário salva o arquivo com a extensão “.fds” e ao abri-lo no programa FDS, este executa o processamento, em modo MS-DOS e o usuário é informado apenas do tempo transcorrido da simulação. Ao final, são gerados diversos arquivos com extensões diferentes, dentre estes os principais a serem

analisados são as planilhas com os dados coletados, que posteriormente se tornarão gráficos dos resultados e a extensão do *SmokeView*, responsável pela parte gráfica da simulação e parte do pacote de instalação do FDS.

Na figura 19, pode ser visto o resultado do teste de simulação do modelo experimental. Todos os elementos podem ser visualizados pelo usuário, tais como a temperatura dos pontos de análises, evolução das chamas, limites do modelo, entre outras ferramentas que ajudam a entender a evolução das chamas no modelo.

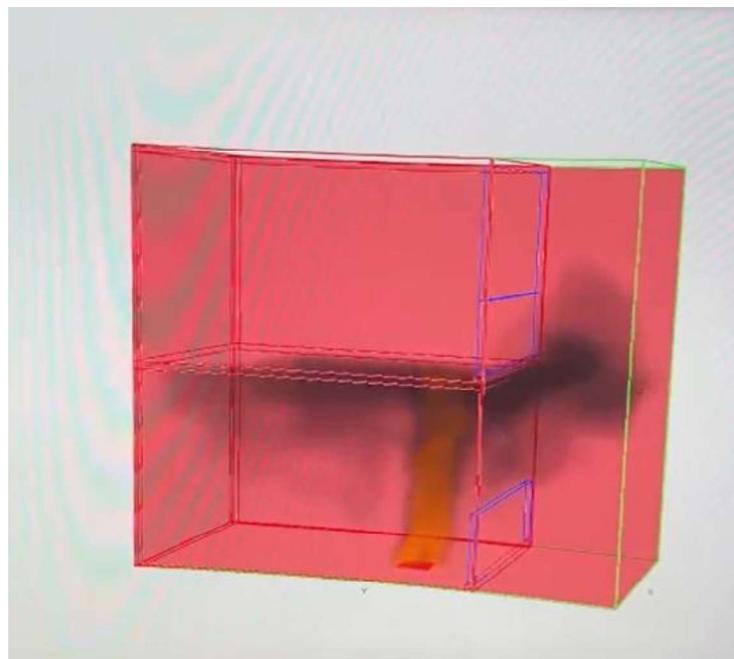


Figura 25: Imagens geradas pelo SmokeView. (Fonte: o autor)

O FDS é um modelo computacional da dinâmica dos fluidos (CFD) para definir o fluxo destes em um incêndio. O modelo resolve numericamente uma forma das equações de Navier- Stokes, apropriadas à baixa velocidade, dando ênfase ao transporte de calor e de fumaça (McGRATTAN et al, 2008).

3.2 Definição do modelo integrado

Essa fase consiste em definir os parâmetros básicos da varanda a ser objeto da simulação, como a volumetria, tipo e materiais de vedação, tipo e materiais a serem inseridos na varanda, especificações construtivas e térmicas.

Para o clima, foi definida a temperatura média na cidade de Vitória em 24,7°C segundo dados do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural INCAPER – apurados entre os anos de 1984 a 2014 e apresentado na figura 26. As especificações da volumetria e especificações construtivas são determinadas pelas normas vigentes no âmbito de segurança contra incêndio com base na norma técnica 11, que determina os parâmetros seguros para compartimentação vertical. Quanto às condicionantes do Código de Obras da cidade de Vitória, foram considerados os itens relacionados à varanda e projeções em edificações residenciais.

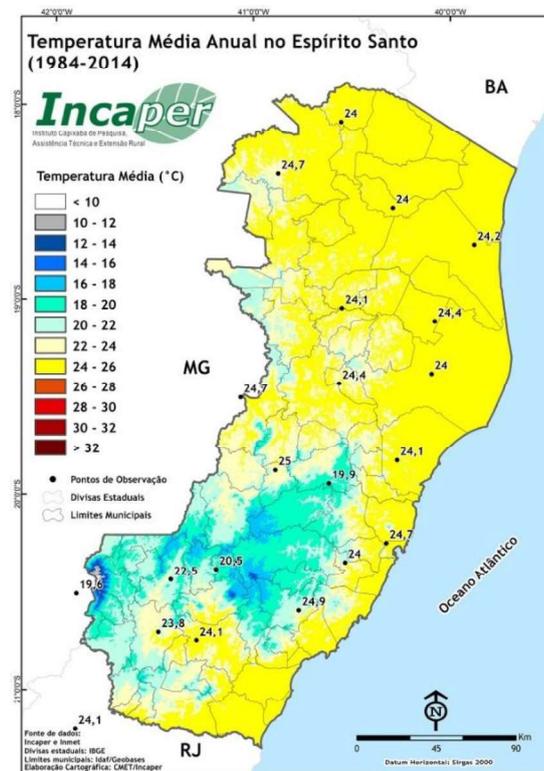


Figura 26: Temperatura média anual no Espírito Santo (1984-2014). (Fonte: <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/mapas-de-temperatura-media>, acessado em 23 de jan. de 2023)

A NT 11 (CBMES, 2010) define em seus objetivos que compartimentação horizontal se destina a impedir a propagação de incêndio no pavimento de origem para outros ambientes no plano horizontal e no plano vertical, visando impedir a propagação de incêndio no sentido vertical, ou seja, entre pavimentos elevados consecutivos. Para este trabalho, considerando a definição de compartimentação vertical, foi modelado parte de uma edificação vertical, usando dois pavimentos como parte do estudo, como mostra a figura 27, sendo analisada as duas varandas envidraçadas e com carga de incêndio, com o queimador inserido no FDS na varanda inferior para que simule a trajetória da do incêndio para a varanda superior.

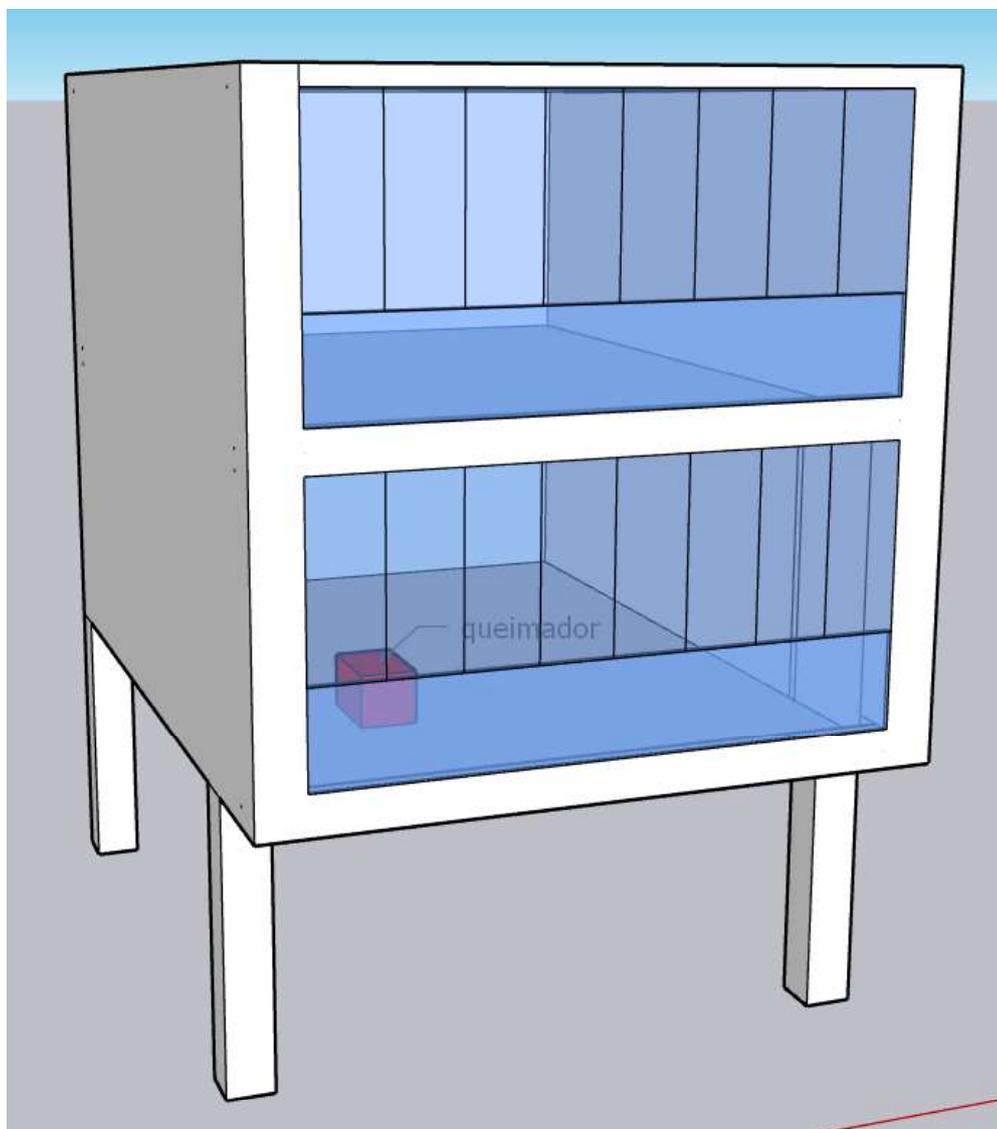


Figura 27: Perspectiva do modelo de simulação editado no programa Sketchup. (Fonte: o autor)

O programa tem por objetivo relacionar algumas variáveis que influem na propagação externa do fogo aos pavimentos sucessivos, sejam elas a geometria das aberturas (área de ventilação) e a carga de incêndio, com as exigências constantes nas normas de segurança contra incêndio e pânico brasileiras, analisando a eficiência dos sistemas de compartimentação vertical externa, quer seja por afastamento entre as janelas ou pelo prolongamento do piso (projeção horizontal entre as aberturas).

Considerando o grande número de combinações de cenários, visando a exequibilidade do experimento, este trabalho busca resultados através de dois cenários de simulação, sendo um com as varandas totalmente fechadas e outro com parte do envidraçamento aberto para que possa ser comparada a evolução em cenários distintos e, ao mesmo tempo, comuns nestes ambientes.

Quanto à geometria da varanda, foi considerado o previsto na NT 11 (CBMES, 2010) para efeito de compartimentação vertical externa das edificações de baixo risco, podendo ser somadas as dimensões da aba horizontal e a distância da verga até o piso da laje superior, totalizando o mínimo de 1,20m. Na figura 28, observa-se a aplicação do conceito no modelo proposto para realizar as simulações do estudo.

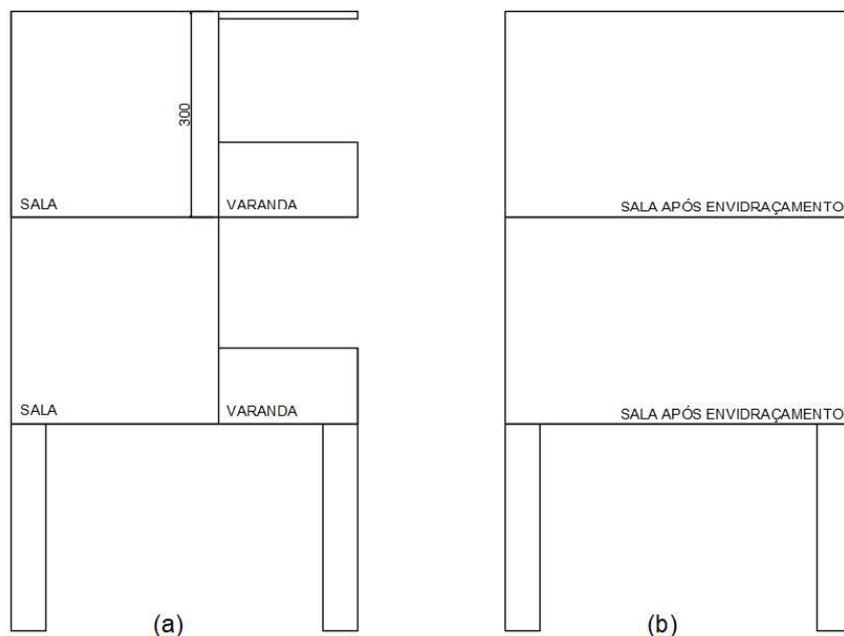


Figura 28: Corte esquemático do modelo proposto. (a) modelo com atendimento a NT 11/2010. (b) modelo com supressão do limite mínimo do somatório aba mais verga proposto pela NT 11/2010. (Fonte: o autor)

Como pode ser visto, os experimentos comprovam a efetividade da NT 11 (CMES, 2010) com relação aos avanços horizontais e o trabalho proposto busca através de simulações verificar se a efetividade dos parâmetros mínimos da norma pode ser mantida frente ao uso do envidraçamento das varandas e conseqüente redução da aba horizontal proporcionada pelo teto da varanda.

3.3 Parametrização do Fire Dynamics Simulator – FDS

Nesta fase foi escolhida a versão do FDS a ser utilizada e as definições preliminares de dados de entrada, como cores dos elementos, tempos de execução, dimensões da malha e do elemento de ignição.

Segundo Andrade (2018), umas das principais condições de contorno para simulação no FDS são as malhas e interfaces entre malhas. Essas condições precisam ser definidas adequadamente para que os modelos gerados representem a situação real.

O FDS atua em três dimensões (x, y, z), sendo que este fator influencia no tempo de execução do modelo e na confiabilidade da simulação.

3.3.1 Definição da arquitetura do ambiente hipotético

A arquitetura do modelo que foi estudado foi definida com base na norma de compartimentação NT 11 (CBMES, 2011). A legislação disserta que deve ser atendido a distância mínima de 1,20m entre dois pavimentos, sendo que esta distância pode ser aplicada na forma de uso da verga mais peitoral ou apenas peitoral.

A figura 30 mostra as dimensões do ambiente simulado, onde foi considerado uma varanda com projeção de 2m de teto, ou seja, com índice acima do previsto na NT 11 (CBMES, 2010) que é de 1,20m. As paredes do envoltório foram consideradas de alvenaria, revestidas a acabadas com 0,15m de espessura.

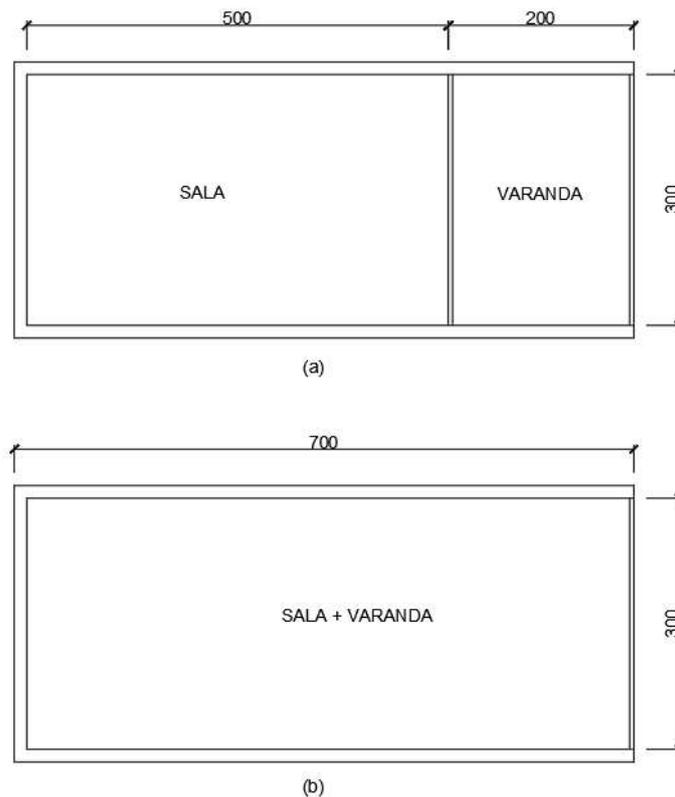


Figura 29: Esquema básico de planta baixa do modelo experimental do FDS, onde (a) é o modelo sem envidraçamento e (b) o modelo após envidraçamento. (Fonte: Autor)

O envidraçamento de sacadas é definido pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da NBR 7199 do ano de 2016, que contém diretrizes relacionadas aos sistemas de envidraçamento de sacadas, requisitos para guarda-corpos em edificações; e regras sobre qual tipo de vidro usar em cada aplicação, respectivamente. Os vidros utilizados na porta, guarda-corpo e envidraçamento foi definido com espessura de 10 mm, conforme determina a NBR 7199 (BRASIL, 2016).

3.3.2 Definição das cargas de incêndio do modelo

A carga de incêndio é a disponibilidade de energia a ser liberada pelos materiais móveis e fixos constituintes de uma edificação caso entre em combustão e se tornando determinante para a severidade do incêndio.

Primeiramente, para a conversão de unidades, foi utilizada a fórmula (1) apresentada por Bailey (2008), a qual transforma a carga de incêndio (q) multiplicada pela área de

interferência (A_f) de MJ/m^2 em potência liberada (Q) em MW, e vice-versa, durante um incêndio de 20 minutos, qual seja:

$$Q = (A_f \times q) / 1200 \quad (1)$$

Para a determinação da carga de incêndio a ser utilizada, foi utilizado o valor para edifícios residenciais, extraído da Norma Técnica 04 – Carga de Incêndio (CBMES, 2020), $300 \text{ MJ}/\text{m}^2$, que ao utilizar a área do cômodo a ser incendiado que foi de 21 m^2 chegou-se ao valor correspondente a $3,75 \text{ MW}$ em escala real. Para equiparação da carga de incêndio realizada nos ensaios em escala reduzida, foi gerado um queimador de $50 \times 50 \text{ cm}$ no compartimento inferior, conforme apresentado na figura 31. Para efeito de parametrização da carga de incêndio, foi utilizado nos dois modelos o valor encontrado foi considerado a área da varanda aberta (15 m^2) no cálculo da fórmula de carga de incêndio mencionada anteriormente.

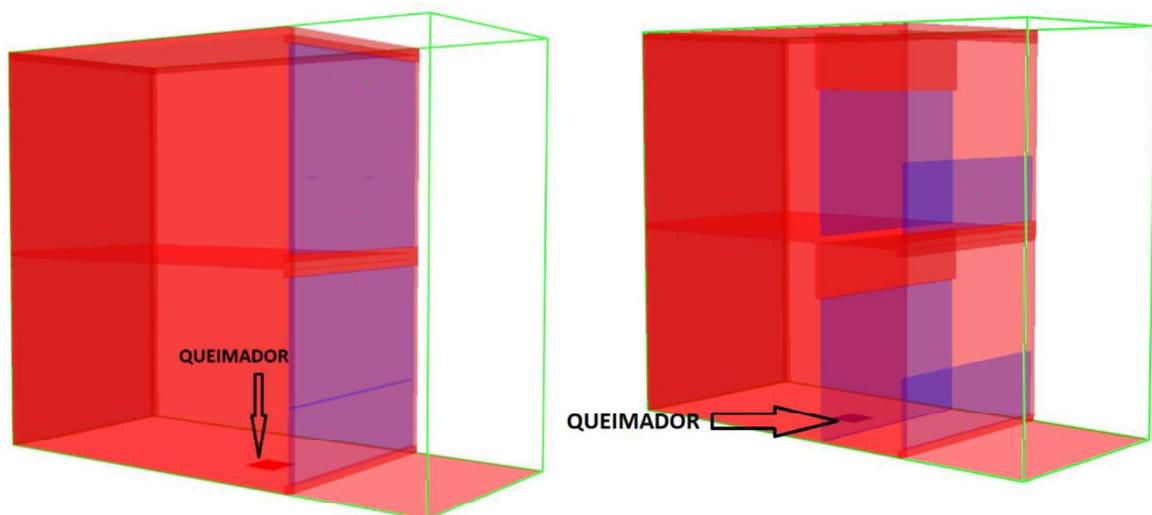


Figura 30: Compartimento simulado pelo FDS mostrando a localização do queimador (“vent”) no compartimento inferior dos dois modelos. (Fonte: Autor)

3.3.3 Projeto básico do protótipo da simulação

Para o experimento, foi utilizada a 6ª versão do software Fire Dynamic Simulator (FDS 6.7.5) em computadores do Centro de Atividades Técnicas do Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo. A escolha se deve ao fato de realizar simulações simultâneas e acelerar o processo de simulação que demanda períodos que podem variar de 12 a 72

horas para obtenção de resultados do programa. Destaca-se que quanto mais refinado o arquivo, mais tempo de execução da simulação no sistema.

Após as definições de parametrização do modelo e definição dos índices básicos, os dados foram inseridos no FDS para início dos testes e caracterização do experimento. Nesta fase, os dados inseridos no programa através de comandos de texto dão início a fase experimental, onde são realizadas as simulações testes para verificar as dinâmicas dos dados inseridos.

3.3.4 Testes e calibração do modelo do FDS

Nesta fase de calibração, o modelo passou por simulações testes, sendo estes importantes para validação do modelo, ajustes de medidas e pontos de ignitores. As simulações do programa são longas, podendo se estender por horas ou até dias e por isso essa fase se torna importante para que haja ganho de tempo na produção do trabalho.

Inicialmente dois tempos foram utilizados nos testes para análise dos parâmetros da queima e dos objetos inseridos, sendo um com 800 segundos e outro com 1200 segundos. Os dois tempos foram definidos com base na carga de incêndio definida no item 3.3.2 deste capítulo.

4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIO

Neste capítulo será abordado a forma de parametrização do modelo computacional aplicado ao problema do trabalho: situação com varanda aberta e com varanda envidraçada.

4.1 Parametrização do modelo com varanda aberta

Os parâmetros de entrada e estratégias adotadas para desenvolver o modelo foram baseados na cronologia do evento, geometria e especificidades da edificação,

observação das condições ambientais e normas técnicas pertinentes. O anexo A mostra os dados de entrada do arquivo padrão.

4.1.1 Geometria da malha

O modelo foi concebido a partir de uma edificação residencial vertical multifamiliar, entretanto, para reduzir o domínio computacional, a análise dos efeitos do incêndio foi realizada em dois pavimentos do edifício, conforme figura 32. A planta baixa do pavimento tipo é mostrada na figura 33 e o corte na figura 34.

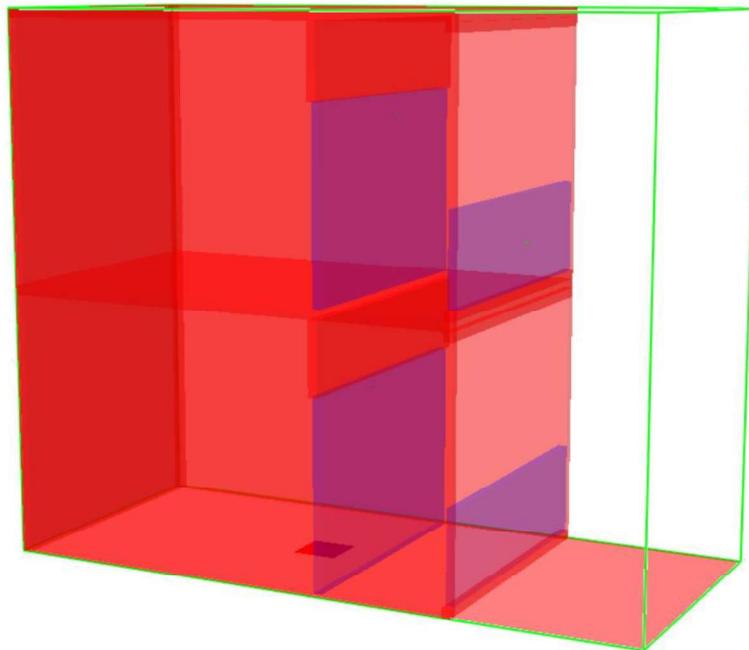


Figura 31: Perspectiva da edificação construída no FDS com varanda aberta para as simulações computacionais. (Fonte: Autor)

Todos os materiais previstos necessitam de dados de condutividade térmica, densidade e calor específico para que sejam inseridos no FDS, servindo de base para o experimento. Na tabela 3 são indicados os parâmetros utilizados no modelo com base nos dados do site da *Thermtest* (acessado em 26 de jan. 2023).

Tabela 3: Propriedades Térmicas dos Materiais. (Fonte: <https://thermtest.com/thermal-resources/materials-database>. Acessado em 23 de jan. de 2023)

Propriedades Térmicas dos Materiais			
Material	Condutividade térmica (W/mK)	Calor específico (MJ/m ³ K)	Densidade (Kg/m ³)
Tijolo	0,69	0,89	1600
Vidro	1,049	0,837	2300



Figura 32: Planta baixa da edificação construída com varanda aberta para as simulações computacionais. Medidas em centímetros e sem escala. (Fonte: Autor)

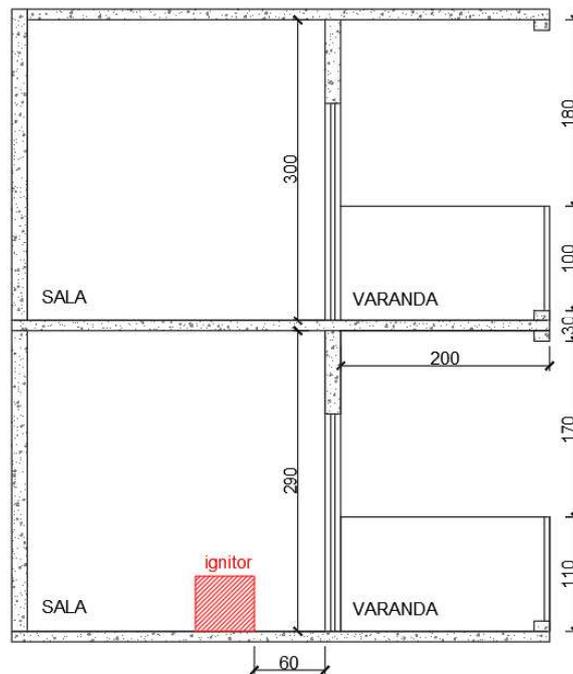


Figura 33: Corte da edificação construída com varanda aberta para as simulações computacionais. Medidas em centímetros e sem escala. (Fonte: Autor)

O ambiente “sala”, com área de 15 m², foi o que recebeu a carga de incêndio, indicado na figura 34 como ignitor, a uma distância de 0,60m da porta de acesso à varanda. O acesso à varanda é feito por uma porta de vidro de 10 mm com duas folhas de correr de 0,80m cada e duas folhas fixas nas extremidades de 0,70m cada, que permanecerão fechadas durante a simulação.

Em relação às dimensões da malha, buscando o equilíbrio entre a precisão dos resultados e o custo computacional, no compartimento a malha adotada foi mais refinada, com dimensões 0,10m x 0,10m x 0,10m. As espessuras das paredes e lajes foram de 0,20m a fim de melhor se ajustarem à malha escolhida para simulação computacional. Já a espessura da carga de incêndio foi de 0,10 m, tendo em vista que a malha desse compartimento tem 0,10m de aresta.

Na parte externa, representada por linhas verdes na figura 30, foi definido um espaço de ventilação para o movimento natural da fumaça, assim não acumulando na parte superior do pavimento acima do início das chamas.

4.1.2 Condicionantes ambientais da simulação computacional

Foram consideradas as seguintes condições ambientais: a temperatura ambiente padrão do FDS é de 20,0 °C, porém foi considerada o valor de 25,7 °C que foi a média de temperatura indicada pelo INCAPER, conforme mostra figura 26. O fluxo inicial devido ao vento não foi considerado e a pressão atmosférica de 101.325,0 Pa (padrão FDS) e umidade relativa do ar de 40% (padrão FDS).

4.1.3 Compartimentação de incêndio

As condicionantes para aplicação da compartimentação de incêndio foram definidas no item 2.2.3 deste trabalho. A distância mínima entre pavimentos pela fachada é de 1,20m e neste modelo foi adotado uma distância de 3,10 m, pois foi considerado o teto como aba horizontal no método de peitoril mais verga utilizada pela NT 11 (CBMES, 2010).

A figura 35 mostra como foi adotado os parâmetros da NT 11/2010 para o modelo com varanda aberta, sendo destacado as cotas na cor vermelha as distâncias entre os pavimentos utilizando o método “verga + peitoril” da norma.

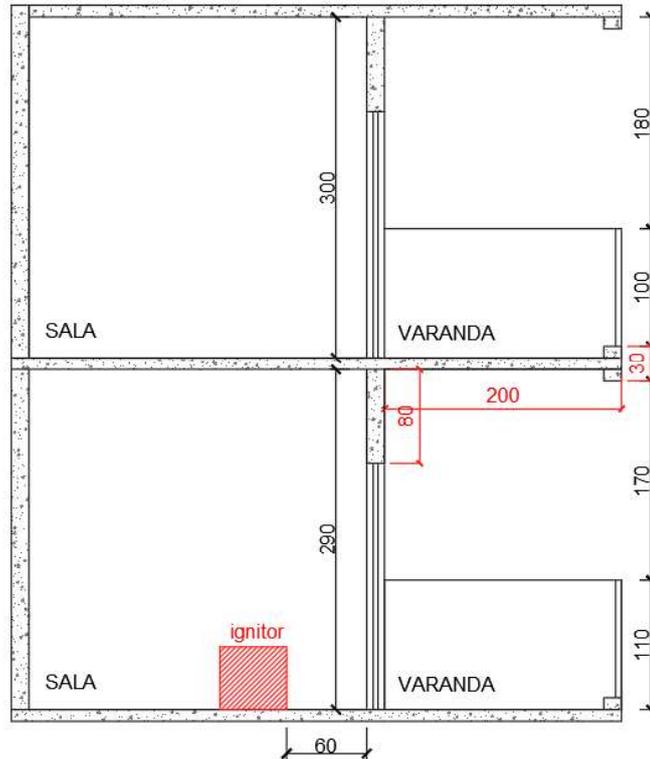


Figura 34: Distâncias entre pavimentos (verga + peitoril) do modelo construído com varanda aberta para simulação computacional. (Fonte: Autor)

4.1.4 Carga de incêndio

O índice usado para aferição da carga de incêndio, segue o exposto no item 3.1.4, que indica através da NT 04/2020 do Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo que estabelece valores de carga de incêndio para diversas ocupações, classificando o tipo residencial multifamiliar como risco baixo e com carga de incêndio de 300 MJ/m². A conversão do valor foi feita para watts, conforme item 3.3.2, considerando ser a taxa padrão de entrada do FDS.

4.1.5 Posicionamento e caracterização dos ignitores

Assim como nos estudos preliminares, foi adotado uma fonte de calor equivalente a 300 MJ/m^2 , convertida em watts para inserção no FDS. A taxa de 3750 W foi aplicada no momento 0 segundos da simulação e permaneceu até o momento 1200 segundos. Essa superfície foi posicionada em todo o piso do compartimento onde foi distribuída a carga de incêndio e funcionou como uma chapa aquecida gerando um fluxo de calor constante no compartimento. O ignitor foi posicionado com $0,60\text{m}$ da porta de acesso a varanda e $0,80\text{m}$ do lado direito do ambiente “sala”.

4.1.6 Dispositivos de medição

Foram instalados dispositivos de medição em locais específicos a fim de captar a temperatura dos sólidos nestes pontos. No interior do pavimento incendiado, o medidor 01 (M1) foi colocado a $1,80\text{m}$ do piso na face interna da porta de vidro do pavimento incendiado. O segundo medidor (M2) foi posicionado na face externa do guarda-corpo de vidro da varanda do pavimento superior, na altura de $0,80\text{m}$ do piso. O terceiro medidor (M3) foi instalado na face externa da porta de acesso a varanda do pavimento superior com $1,80\text{m}$ do nível do piso. A figura 36 mostra os pontos de inserção dos dispositivos, que foram posicionados considerando ser o ponto de análise a quebra dos vidros e a movimentação da fumaça para o interior do pavimento superior.

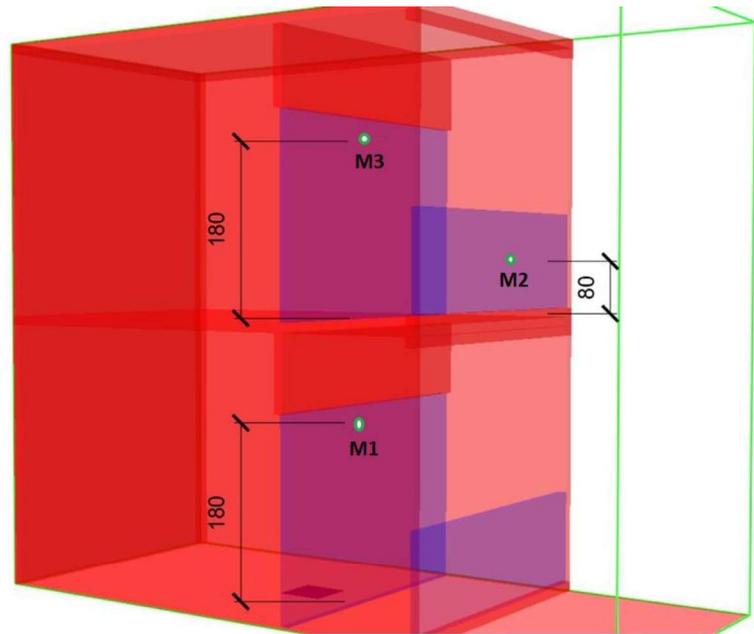


Figura 35: Dispositivos de medição de temperatura no modelo construído com varanda aberta para simulação computacional. (Fonte: Autor)

O FDS possui uma ferramenta para medir o valor da temperatura superficial de sólidos (*wall temperature*), considerando a taxa de absorvidade do material para determinar sua temperatura. Este dispositivo não mede o comportamento da temperatura no interior do sólido, porém fornece o valor superficial da temperatura.

Cada *Wall Temperature* posicionado irá indicar o ponto em que houve rompimento do material da porta e da estrutura da varanda que é de vidro. No estudo de Hassani *et al.* (1994), foi constatado que o vidro exposto a uma temperatura de 450 °C se rompe devido a energia liberada pelo calor do incêndio.

4.2 Parametrização do modelo com varanda envidraçada

Os parâmetros de entrada e estratégias adotadas para desenvolver o modelo foram baseados na cronologia do evento, geometria e especificidades da edificação, observação das condições ambientais e normas técnicas pertinentes. O anexo B mostra os dados de entrada do arquivo padrão.

4.2.1 Geometria da malha

Para o segundo modelo, foi alterado apenas a inserção do envidraçamento da varanda, mantendo o mesmo dimensionamento do ambiente a ser estudado, conforme figura 37. A planta baixa do pavimento tipo é mostrada na figura 38 e o corte na figura 39.

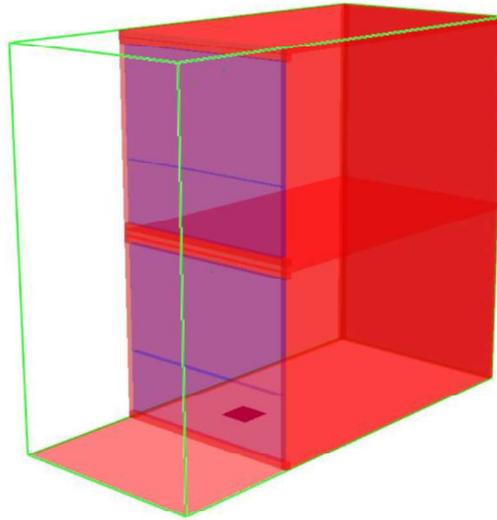


Figura 36: Perspectiva da edificação construída com envidraçamento de varanda para as simulações computacionais. (Fonte: Autor)



Figura 37: Planta baixa da edificação construída com envidraçamento de varanda para as simulações computacionais. Medidas em centímetros e sem escala. (Fonte: Autor)

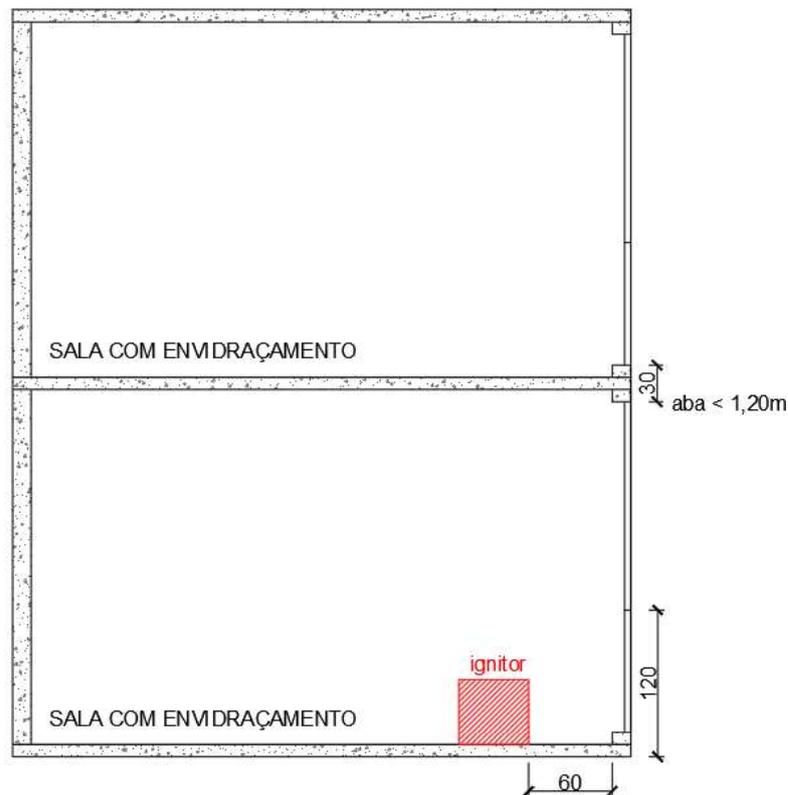


Figura 38: Planta baixa da edificação construída com envidraçamento de varanda para as simulações computacionais. Medidas em centímetros e sem escala. (Fonte: Autor)

Todos os materiais previstos necessitam de dados de condutividade térmica, densidade e calor específico para que sejam inseridos no FDS, servindo de base para o experimento, conforme tabela 3 do item 4.1.1.

O ambiente “sala” neste modelo com envidraçamento teve sua área aumentada devido a retirada da porta de acesso a varanda, tornando um único ambiente de 21,45 m². Nesta nova configuração, o local foi o que recebeu a carga de incêndio a uma distância de 0,60m do vidro da varanda, conforme figuras 37 e 38. O vidro utilizado no envidraçamento da varanda manteve as mesmas características do modelo anterior, ou seja, com 10 mm de espessura.

Em relação às dimensões da malha, buscando o equilíbrio entre a precisão dos resultados e o custo computacional, no compartimento a malha adotada foi mais refinada, com dimensões 0,10m x 0,10m x 0,10m. As espessuras das paredes e lajes foram de 0,20m a fim de melhor se ajustarem à malha escolhida para simulação computacional. Já a espessura da carga de incêndio foi de 0,10 m, tendo em vista que a malha desse compartimento tem 0,10m de aresta.

Na parte externa, representada por linhas verdes na figura 30, foi definido um espaço de ventilação para o movimento natural da fumaça, assim não acumulando na parte superior do pavimento acima do início das chamas.

4.2.2 Condicionantes ambientais da simulação computacional

Foram consideradas as seguintes condições ambientais: a temperatura ambiente padrão do FDS é de 20,0 °C, porém foi considerada o valor de 25,7 °C que foi a média de temperatura indicada pelo INCAPER, conforme mostra figura 26. O fluxo inicial devido ao vento não foi considerado e a pressão atmosférica de 101.325,0 Pa (padrão FDS) e umidade relativa do ar de 40% (padrão FDS).

4.2.3 Compartimentação de incêndio

Neste modelo, com o envidraçamento, a varanda incorpora ao ambiente sala e perde a distância mínima da norma de compartimentação de incêndio, ficando com 0,30m de peitoril e perdendo as distâncias da verga da varanda. Essa configuração, além das perdas de índices de compartimentação, ocasionam um aumento da carga de incêndio deste ambiente que tinha outro uso na sua concepção.

4.2.4 Carga de incêndio

O índice usado para aferição da carga de incêndio, segue o exposto no item 4.1.3, que indica através da NT 04/2020 do Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo que estabelece valores de carga de incêndio para diversas ocupações, classificando o tipo residencial multifamiliar como risco baixo e com carga de incêndio de 300 MJ/m². A conversão do valor foi feita para watts, conforme item 3.3.2, considerando ser a taxa padrão de entrada do FDS.

4.2.5 Posicionamento e caracterização dos ignitores

Assim como nos estudos preliminares, foi adotado uma fonte de calor equivalente a 300 MJ/m^2 , convertida em watts para inserção no FDS. A taxa de 3750 W foi aplicada no momento 0 segundos da simulação e permaneceu até o momento 1200 segundos. Essa superfície foi posicionada em todo o piso do compartimento onde foi distribuída a carga de incêndio e funcionou como uma chapa aquecida gerando um fluxo de calor constante no compartimento.

O ignitor foi posicionado com $0,60\text{m}$ do vidro e a varanda e $0,80\text{m}$ do lado direito do ambiente conjugado. Foi mantida a mesma distância do queimador usado na simulação, conforme figuras 37 e 38, por considerar o novo uso do local, adição de carga de incêndio como sofás, poltronas, mesas e outros mobiliários e equipamentos elétricos que compõem uma sala de estar.

4.2.6 Dispositivos de medição

Foram instalados dispositivos de medição em locais específicos a fim de captar a temperatura nestes pontos. Durante a simulação, foram instalados quatro pontos de medição para aferir a temperatura em diferentes pontos do prédio. O primeiro medidor (M1) foi fixado na face interna do vidro do pavimento incendiado, a $1,80\text{m}$ do piso. Já o segundo medidor (M2) foi posicionado na face externa do guarda-corpo de vidro da varanda do pavimento superior, a $0,60\text{m}$ do piso. O terceiro ponto de medição (M3) foi fixado na face externa do envidraçamento da varanda do pavimento superior, a $1,80\text{m}$ do nível do piso. Por fim, o último medidor (M4) foi instalado no interior do pavimento superior, a $1,80\text{m}$ do piso e afastado $0,80\text{m}$ do vidro do ambiente, com a finalidade de medir a temperatura ao final da simulação, após 1200 segundos. A figura 40 mostra os pontos de inserção dos dispositivos, que foram posicionados considerando ser o ponto de análise a quebra dos vidros e a movimentação da fumaça para o interior do pavimento superior.

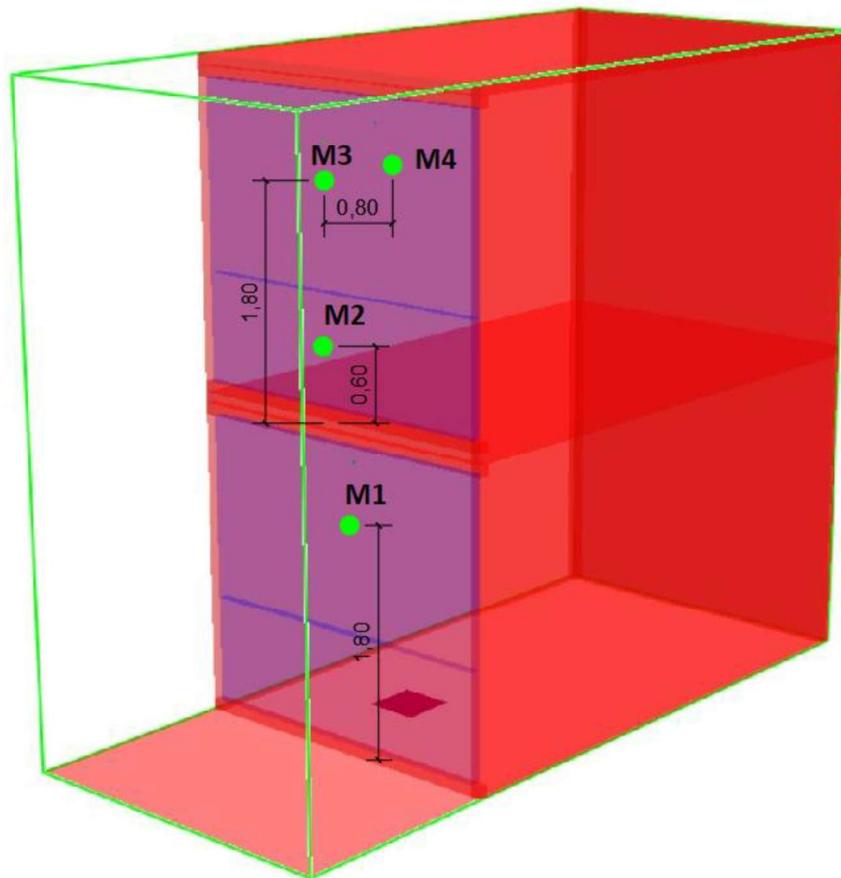


Figura 39: Dispositivos de medição de temperatura no modelo construído com varanda envidraçada para simulação computacional. (Fonte: Autor)

Cada *Wall Temperature* posicionado irá indicar o ponto em que houve rompimento do material da porta e da estrutura da varanda que é de vidro. O quarto ponto medirá a temperatura interna do ambiente ao final de cada simulação.

5 RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados os resultados das simulações de cada modelo, as análises e discussões dos dados em comparação à norma de compartimentação.

5.1 Dinâmica do incêndio no modelo com varanda aberta

A simulação inicia no tempo 0 segundos com ignição do objeto ignitor, que tem sua potência aumentada ao longo da simulação, até atingir o máximo de potência configurado no sistema, que foi de 3750 W.

Na figura 41, nota-se que no tempo 165 segundos a temperatura considerada do ambiente é de 121,8 °C, fator que impede a presença humana devida a baixa disponibilidade de oxigênio, calor excessivo e fumaça com densidade elevada. Considerando a tabela 2 exposta no item 3.3 deste trabalho, objetos ao redor como plásticos começam a derreter com o calor.

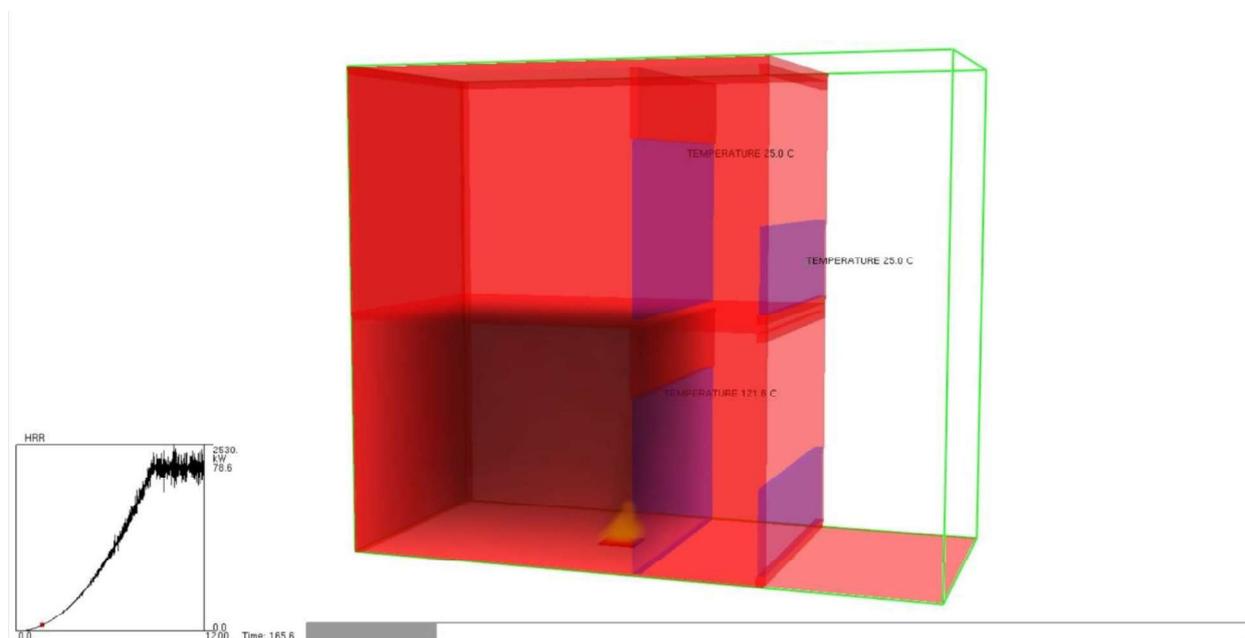


Figura 40: Cronologia do incêndio no modelo de varanda aberta – tempo 165s (2 min e 45s). (Fonte: Autor)

Nesta fase não existe possibilidade de controle sem que haja intervenção do Corpo de Bombeiros com roupas especializadas para o combate.

A figura 42, mostra o momento em que a formação da capa térmica já é extensa por todo ambiente, com temperatura variando entre 300 °C ~ 450 °C, momento que antecede o rompimento do vidro da porta do pavimento incendiado.

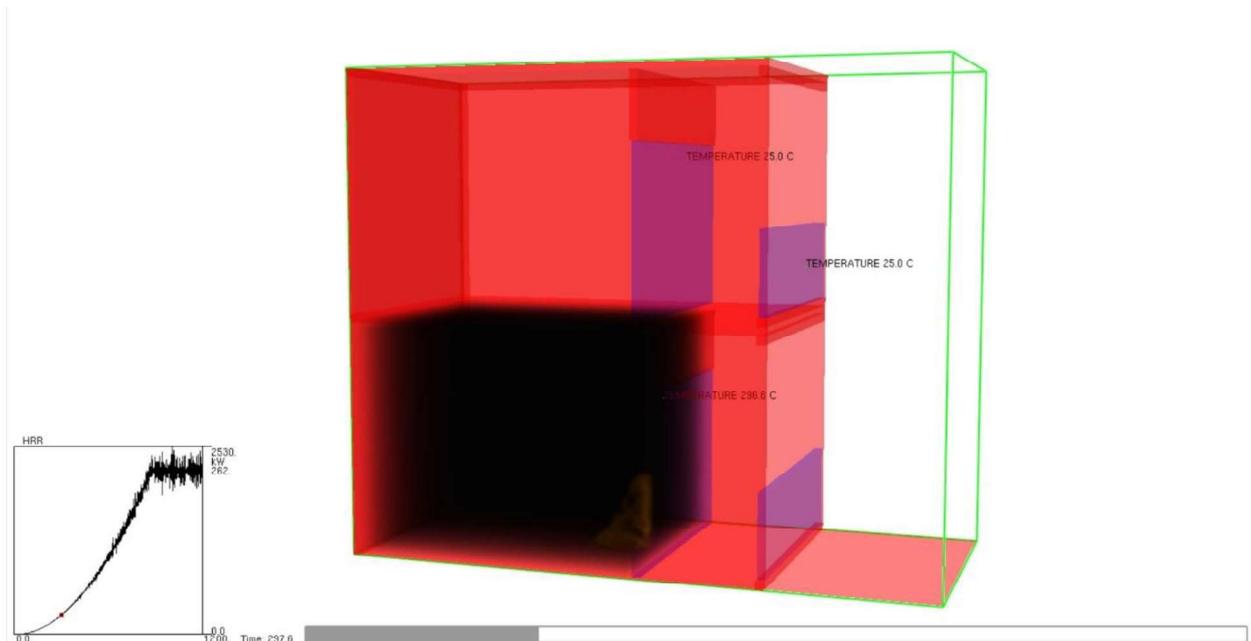


Figura 41: Cronologia do incêndio no modelo de varanda aberta – tempo 297s (4 min e 57s). (Fonte: Autor)

A partir deste ponto o incêndio inicia o processo de manutenção da temperatura mediante a manutenção de combustível ou fonte de calor no local incendiado, realizando a transferência de calor através da fumaça para os pavimentos superiores. Mesmo com a redução de temperatura no pavimento inferior, não é possível ação humana sem equipamentos de proteção adequados.

Na figura 43, após o rompimento do vidro (306 s / 5 m e 6 s), a fumaça se desloca para o pavimento superior ocasionando em um aumento de temperatura (49,8 °C) no vidro do guarda-corpo de pavimento superior. No compartimento incendiado, com o aumento do oxigênio no ambiente e ventilação a temperatura reduz significativamente com valores entre 190 °C e 240 °C.

A fumaça faz o movimento vertical, e não encontrando aberturas tende a dissipar para os pavimentos superiores com menor poder calorífico, porém ocasionando em variações de temperatura.

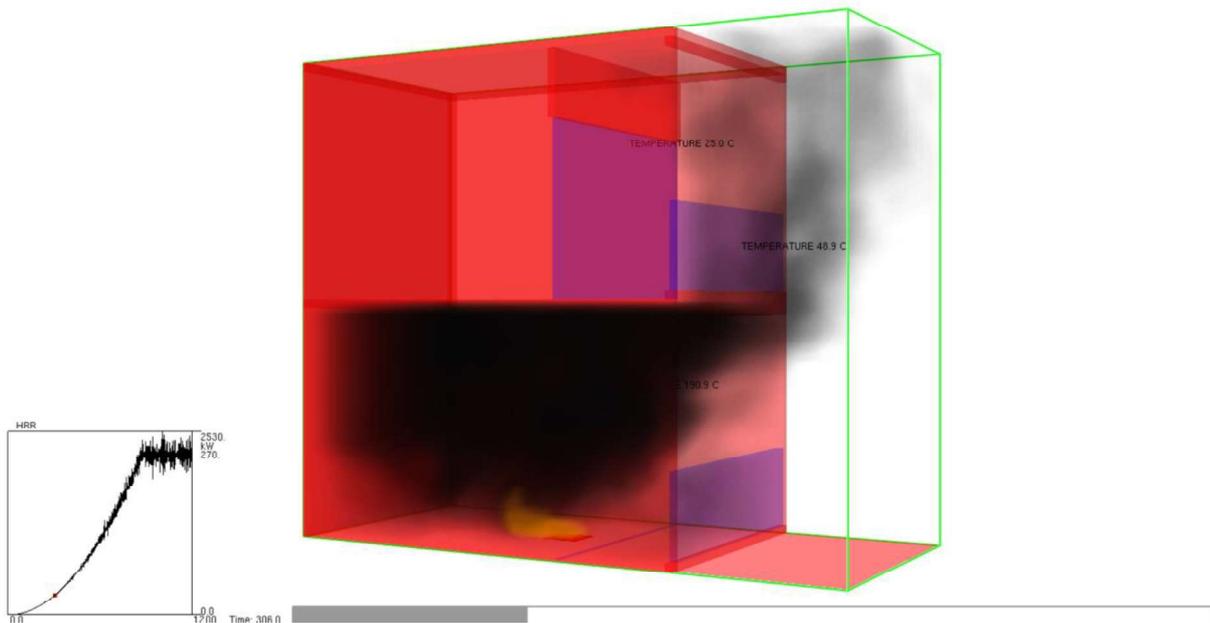


Figura 42: Cronologia do incêndio no modelo de varanda aberta – tempo 306s (5 m e 06 s). (Fonte: Autor)

A tabela 4 mostra a evolução da temperatura nos três pontos de medição, indicados como “termopar”. No tempo 297 segundos ocorre a quebra do vidro da porta de acesso à varanda do pavimento incendiado e no tempo 1040 segundos ocorre o rompimento do vidro do guarda-corpo da varanda superior. Nota-se que, a falha nos vidros ocorre dentro do intervalo indicado nos estudos de Hassani *et al.* (1994).

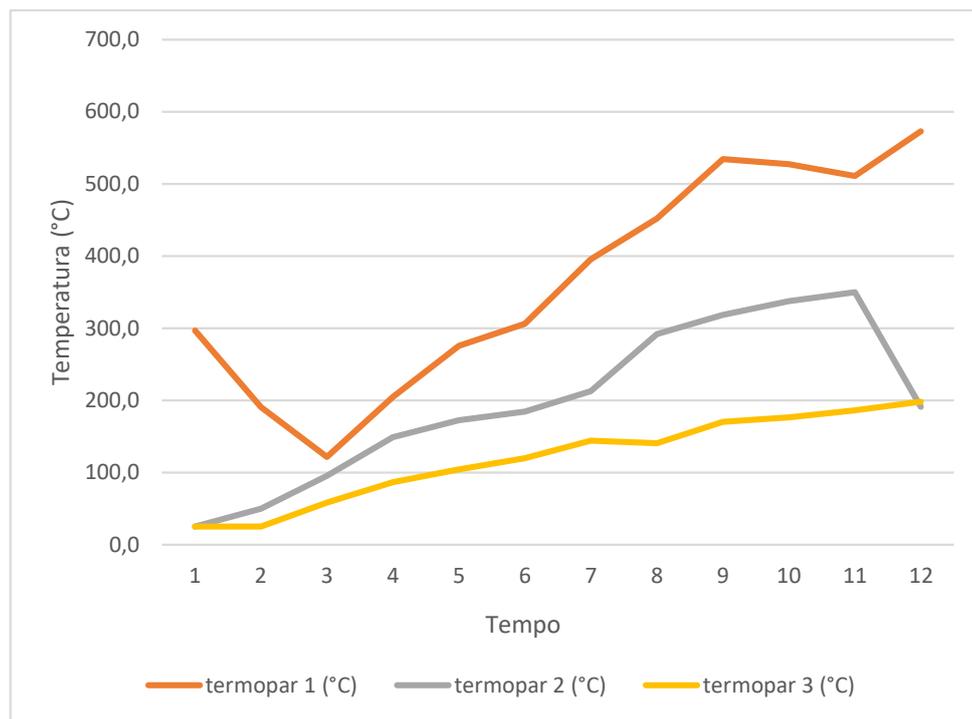
Tabela 4: Evolução temperatura durante simulação no modelo com varanda aberta. (Fonte: Elaborada pelo autor)

Tempo simulação (segundos)	T1 297	T2 306	T3 318	T4 460	T5 560	T6 620	T7 720	T8 780	T9 910	T10 980	T11 1040	T12 1200
termopar (M1) (°C)	296,8	190,6	121,4	204,9	275,7	306,2	395,6	452,2	534,3	527,5	511,1	572,8
termopar (M2) (°C)	25,0	49,8	95,4	149,1	172,4	184,4	212,5	292,0	318,5	337,7	349,8	190,9
termopar (M3) (°C)	25,0	25,0	58,2	86,4	104,5	119,9	144,1	140,5	170,3	176,5	186,1	198,2

O gráfico 1, mostra a curva de evolução da temperatura nos doze intervalos de tempo. O termopar M1, inserido na porta de vidro do pavimento incendiado, tem a primeira máxima de temperatura no tempo T1 quando ocorre o rompimento do vidro da porta de acesso a varanda, promovendo ventilação e entrada de oxigênio. Neste ponto ocorre o *flashover*, quando o ambiente tem uma temperatura elevada na capa térmica e o consumo quase que total do oxigênio do ambiente sinistrado. Após o rompimento do vidro, a fumaça se movimenta verticalmente e a ventilação promovida pelo rompimento

do vidro reduz a temperatura no ambiente incendiado até o T3. Deste ponto em diante a elevação da temperatura se mantém apenas no pavimento inferior, enquanto o pavimento superior apresenta temperaturas que não causam rompimento do vidro da varanda e da porta de acesso a sala do pavimento superior ao incendiado.

Gráfico 1: Evolução temperatura durante simulação no modelo de varanda aberta. (Fonte: Elaborada pelo autor)



A figura 44 mostra as imagens de evolução nos 12 tempos indicados na tabela 4. Nota-se que a concentração de fumaça antes do rompimento do vidro ocupa todo o ambiente, momento que a disponibilidade de oxigênio diminui, a temperatura se eleva na fumaça a ponto de produzir chamas no seu interior.

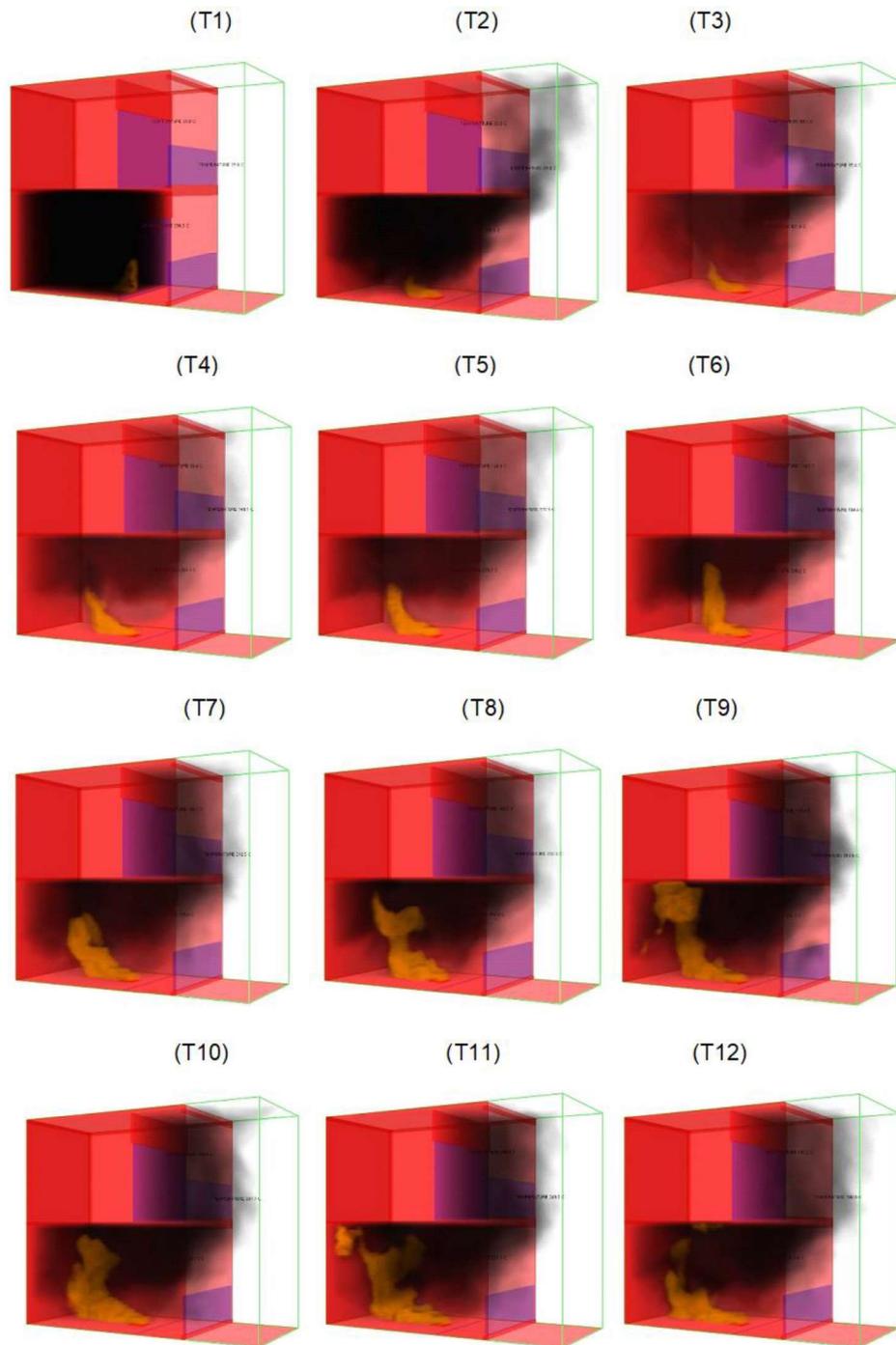


Figura 43: Cronologia do incêndio modelo computacional varanda aberta. (Fonte: Autor)

A partir da abertura do vidro, pode ser visto que a fumaça diminui no interior do pavimento incendiado e o movimento vertical faz aumentar as temperaturas e concentração da fumaça no pavimento superior. No tempo 11, a temperatura no termopar M2 se eleva a ponto de romper o vidro do guarda-corpo do pavimento superior. Durante os 20 minutos

de simulação não houve aumento significativo no termopar M3, tendo o pico de temperatura aferido apenas no T12 com 198,2 °C.

5.2 Dinâmica do incêndio no modelo com varanda envidraçada

A simulação inicia no tempo 0 segundos com ignição do objeto ignitor que tem sua potência aumentada ao longo da simulação, até atingir o máximo de potência configurado no sistema, que foi de 3750 W.

O ponto inicial da simulação é o mesmo do experimento anterior, onde o ignitor tem aumento gradual da temperatura até o ponto máximo definido no modelo.

A figura 45 mostra que no tempo 165 segundos a temperatura no interior do compartimento incendiado alcançam 322,5 °C, se comparado ao experimento na varanda aberta o valor excede em aproximadamente três vezes. Este fato ocorre em decorrência do vidro estar próximo do teto do ambiente, a uma distância de 0,10m e no modelo com varanda aberta antes da porta tem 0,80m de alvenaria que prolongam a resistência da falha do vidro.

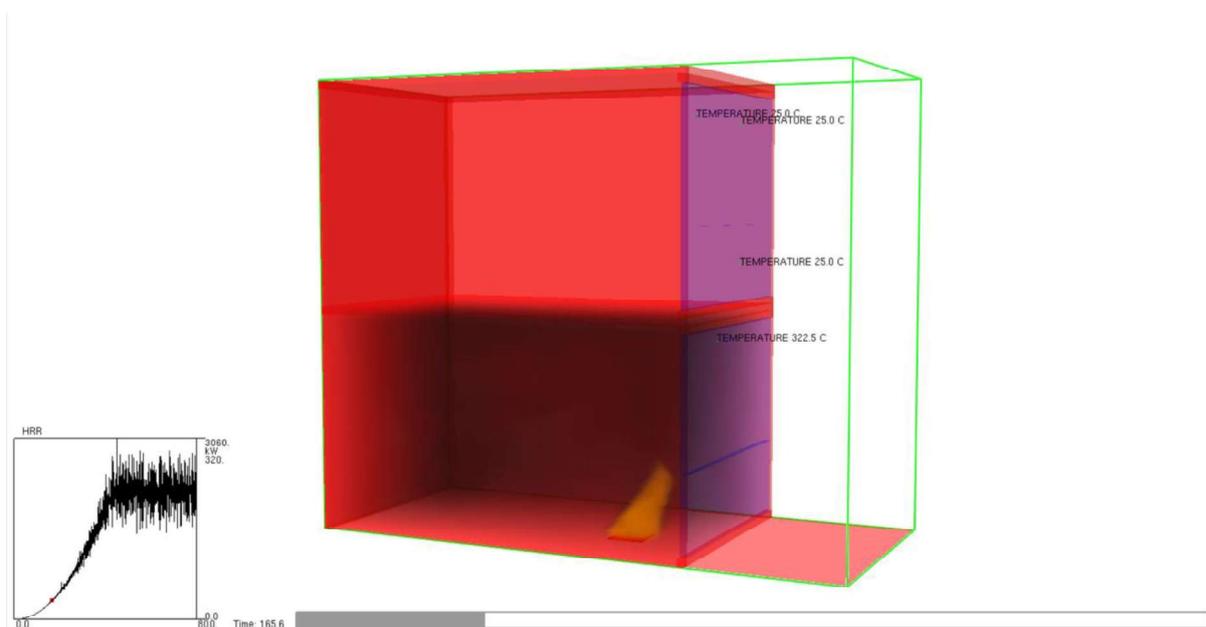


Figura 44: Cronologia do incêndio no modelo de varanda envidraçada – tempo 165s (2 min e 45s).
(Fonte: Autor)

Poucos segundos depois, a figura 46 mostra o ponto que antecede o rompimento do vidro superior da varanda. Com 200 segundos e uma temperatura de 386,8 °C, ocorre o ponto máximo do calor no compartimento e entrada de oxigênio através da abertura causada pela quebra do vidro.

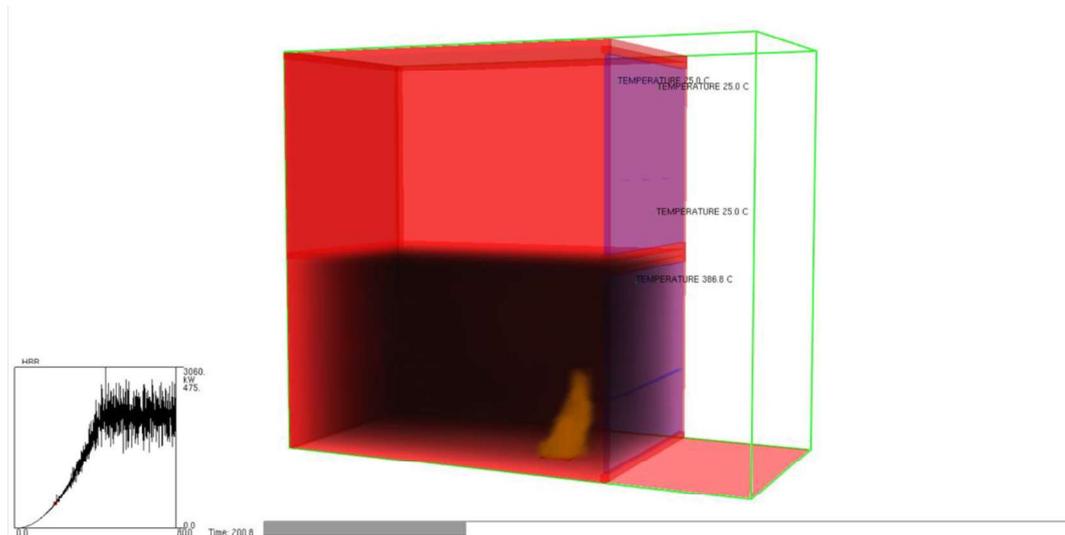


Figura 45: Cronologia do incêndio no modelo de varanda envidraçada – tempo 200s (3 min e 20s).
(Fonte: Autor)

Com a abertura de uma ventilação, o oxigênio do ambiente se renova e alimenta a combustão, fazendo com que haja um deslocamento vertical da fumaça para o pavimento superior (figura 47), o que faz aumentar a temperatura nos termopares da edificação acima e reduzir o calor interno no ambiente incendiado.

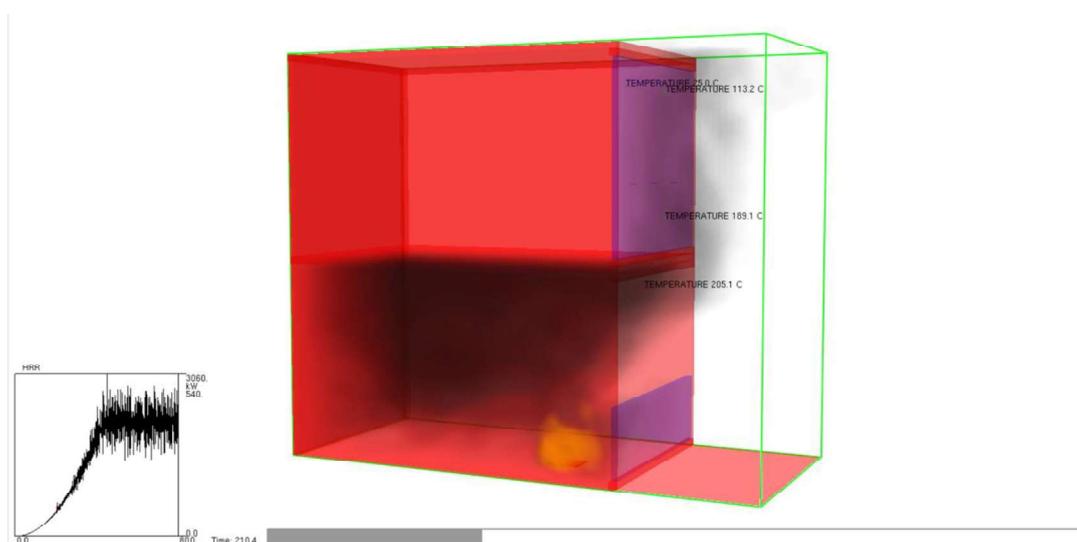


Figura 46: Cronologia do incêndio no modelo de varanda envidraçada – tempo 210s (3 min e 30s).
(Fonte: Autor)

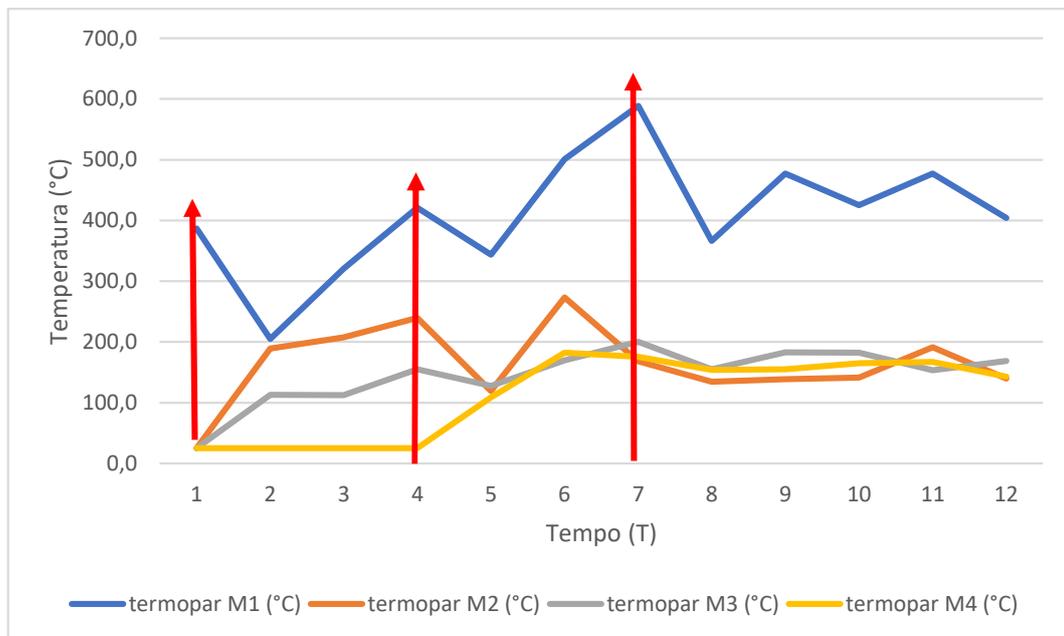
Em menos de 10 segundos a temperatura no termopar do guarda-corpo da varanda (M2) superior é de 189 °C, mais de sete vezes maior que a temperatura antes do rompimento do vidro. A partir deste ponto o aumento é gradual, como pode ser visto na tabela 5.

Tabela 5: Evolução temperatura durante simulação no modelo com varanda envidraçada. (Fonte: Elaborada pelo autor)

Tempo simulação (segundos)	T1 200	T2 210	T3 318	T4 386	T5 560	T6 620	T7 660	T8 780	T9 910	T10 980	T11 1040	T12 1200
termopar (M1) (°C)	386,8	205,1	320,5	420,8	343,6	500,6	588,6	366,1	477,2	424,9	477,3	404,3
termopar (M2) (°C)	25,0	189,0	207,6	239,5	119,5	273,4	168,3	134,7	138,8	141,5	191,1	139,5
termopar (M3) (°C)	25,0	113,2	112,6	155,2	127,7	169,9	200,3	154,9	183,1	182,4	153,3	168,9
termopar (M4) (°C)	25,0	25,0	25,0	25,0	108,7	182,1	175,6	153,7	155,0	164,9	167,1	142,7

Os dados coletados mostram que a velocidade de rompimento das chamas, quando no T7 ocorre o rompimento da última barreira de vidro, onde o termopar M3 indica uma temperatura elevada no exterior do vidro. A partir do T8 o incêndio atinge o seu pico com os dois ambientes com elevada densidade de fumaça e temperaturas internas altas, marcadas pelo termopar M1 (pavimento inferior) e termopar M4 (pavimento superior).

Gráfico 2: Evolução temperatura durante simulação no modelo de varanda envidraçada. (Fonte: Elaborada pelo autor)



O gráfico 2, ilustra a evolução das temperaturas de acordo com cada tempo T indicado na tabela 5. O termopar M1, instalado no vidro da varanda fechada, tem constantes

oscilações, onde os pontos de quedas são marcados pela falha na vedação com a quebra do obstáculo. O T1, T4 e T7 mostra as maiores oscilações de temperatura, quando no intervalo T1 o vidro se rompe gerando uma ventilação no ambiente incendiado e ocasionando movimentação da fumaça verticalmente. No termopar M2, a temperatura se eleva entre os intervalos T2 e T3, até gerar calor suficiente para rompimento do vidro do guarda-corpo da varanda superior no T4. A partir deste ponto a fumaça aquecida adentra no ambiente superior gerando aumento de temperatura interna até que no T7 ocorre o rompimento total do vidro. Deste ponto em diante o comportamento das chamas continuará a se repetir nos pavimentos acima até que haja intervenção de equipe especializada do corpo de bombeiros. A figura 48 demonstra a concentração de fumaça nos dois pavimentos de acordo com os intervalos de tempo citado na tabela 5.

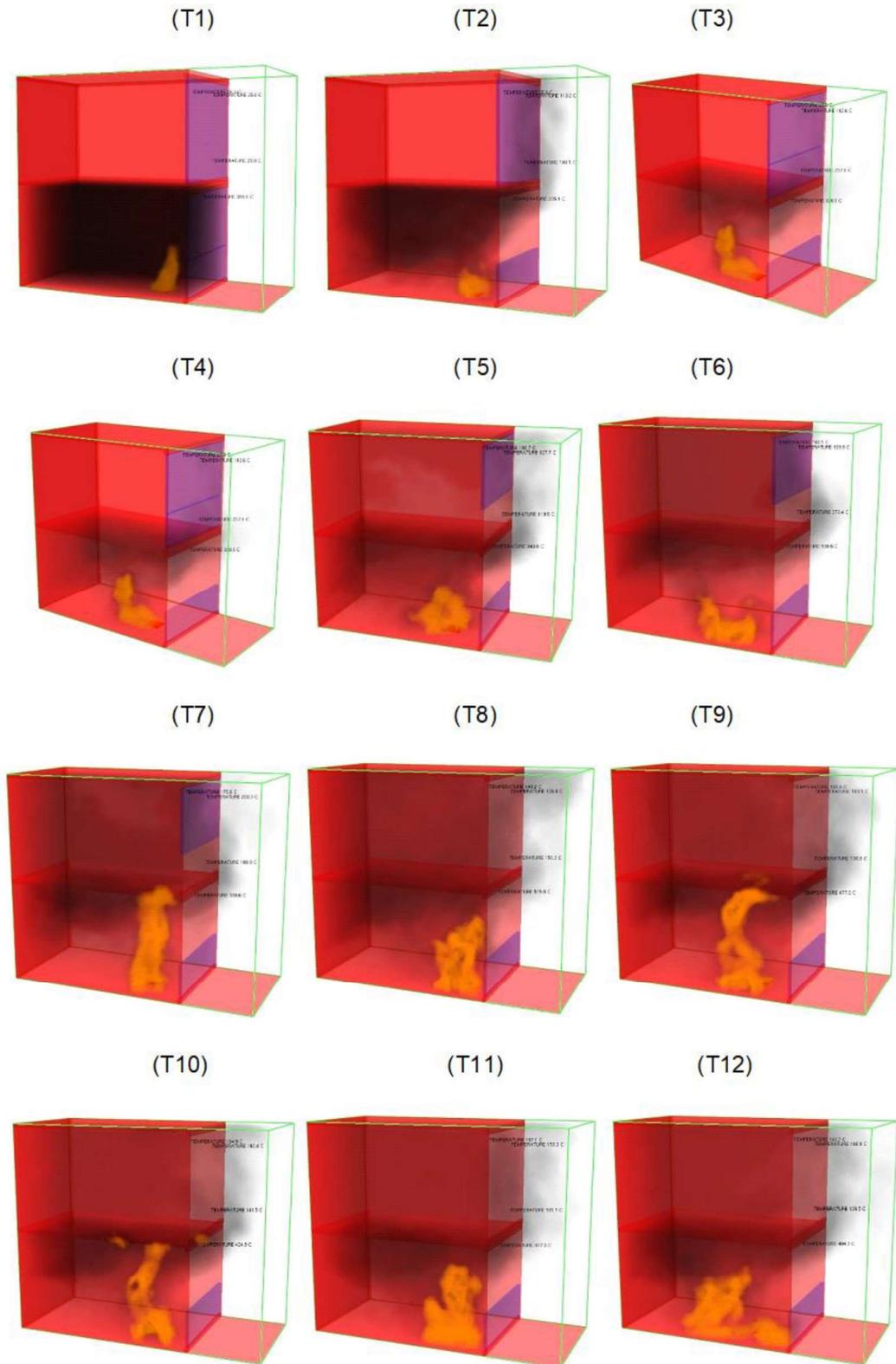


Figura 47: Cronologia do incêndio modelo computacional varanda aberta. (Fonte: Autor)

5.3 ANÁLISE COMPARATIVA DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

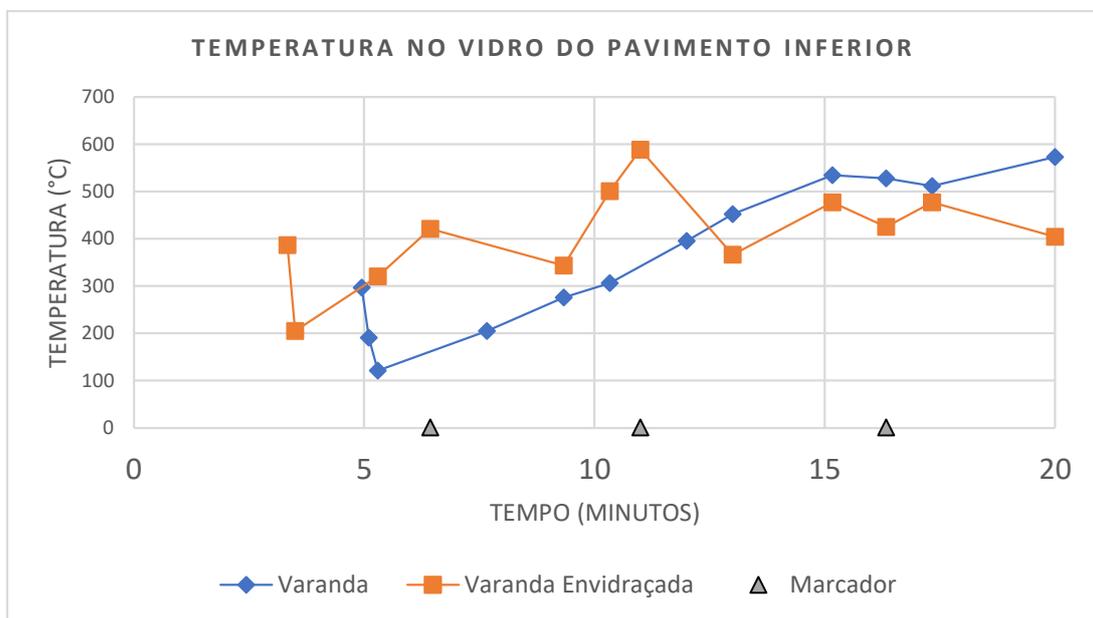
Para análise comparativa entre os valores encontrados nas duas simulações computacionais, foi necessário primeiramente identificar o momento em que é atingida a taxa máxima de liberação de calor nos dois experimentos.

Os dois ensaios seguiram a mesma dinâmica de tempo, especificidades dos materiais inseridos no modelo, carga de incêndio e fluxo de calor.

Foram considerados 12 intervalos de tempo, onde alguns destes foram extraídos no mesmo segundo dos dois modelos, porém houve diferentes rompimentos em tempos distintos devido as características da evolução do incêndio em cada modelo.

No entanto, analisando os resultados das camadas de temperatura ao longo do tempo, pode-se estimar a dinâmica do incêndio e a eficiência do uso correto do sistema de compartimentação de incêndio.

Gráfico 3 - Evolução da temperatura no termopar M1 dos modelos.

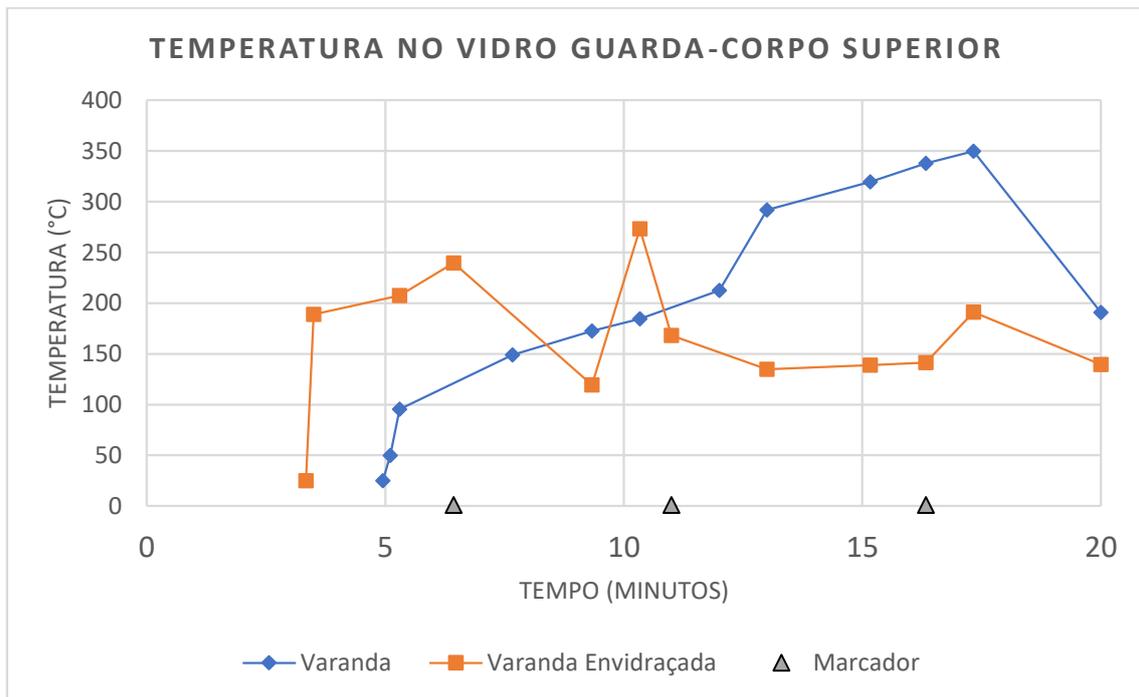


O gráfico 3 apresenta as variações de temperatura do vidro na varanda aberta durante o incêndio. Observa-se um aumento gradual da temperatura ao longo do tempo. Na varanda sem fechamento, a temperatura atinge seu primeiro pico em torno de 5 minutos, chegando a cerca de 300°C no momento em que o vidro da porta de acesso é rompido. Após a quebra da barreira, a entrada de ventilação promove uma redução da temperatura. No entanto, a partir desse ponto, a temperatura volta a subir devido à

concentração de calor e fumaça no ambiente. No final do experimento, a temperatura chega a valores próximos a 600°C.

Na varanda com fechamento em vidro, o comportamento é distinto devido às oscilações de temperatura geradas pelas quebras dos elementos, incluindo o guarda-corpo que suporta o envidraçamento da varanda. Conforme observado no gráfico, houve três picos de temperatura associados à ruptura de barreiras neste pavimento.

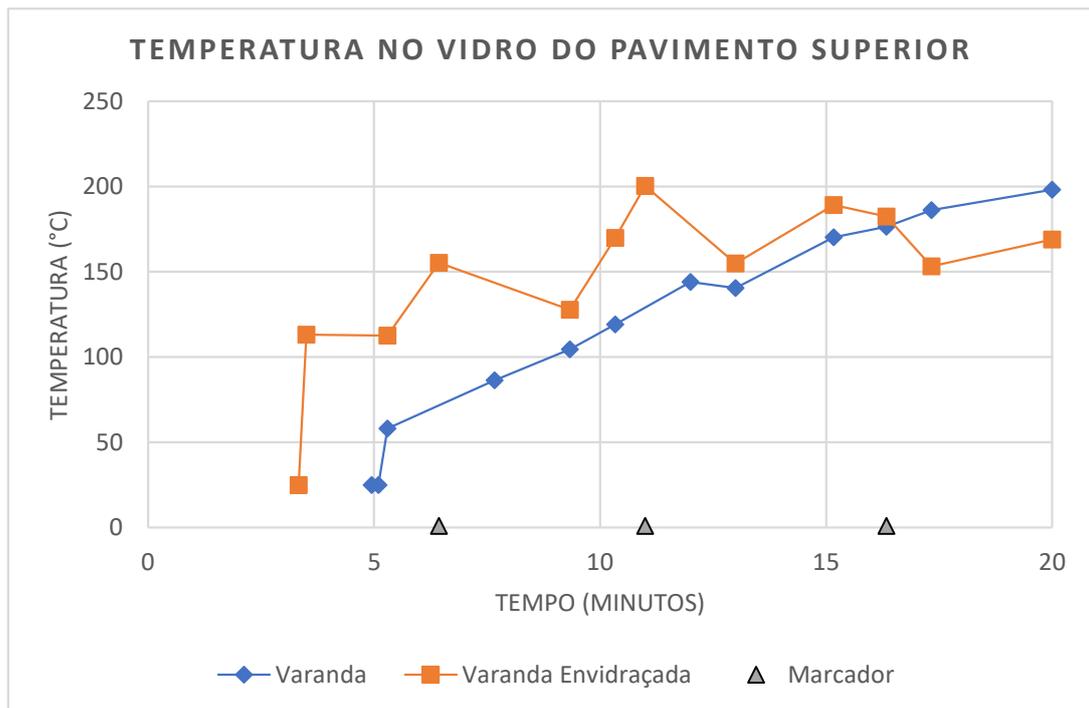
Gráfico 4 - Evolução da temperatura no guarda-corpo superior nos dois modelos.



O gráfico 4 ilustra que no experimento realizado na varanda aberta, a temperatura aumenta gradualmente à medida que a fumaça e o calor se acumulam, atingindo o limite de temperatura para quebra do vidro por volta do 17º minuto de exposição. Na varanda envidraçada, um pico de calor ocorre pouco antes dos 7 minutos, rompendo o vidro do guarda-corpo do pavimento superior. Em seguida, a entrada de ar no ambiente causa uma queda na temperatura. No entanto, uma vez que as chamas continuam queimando no andar inferior, a temperatura logo volta a subir e, próximo aos 12 minutos, ocorre um novo pico de temperatura, seguido de uma queda pelo mesmo motivo anterior. Mesmo após o rompimento da barreira, o termopar M2 continua medindo a temperatura no local e mostra um declínio na temperatura da varanda envidraçada nos últimos 8 minutos do experimento.

Por fim, o gráfico 5 mostra que o vidro da barreira da varanda aberta se manteve estável durante toda a simulação, com um aumento considerável de temperatura no final do experimento que não causou sua quebra. Na varanda envidraçada, o vidro se rompe logo após o décimo minuto do início do incêndio, o que aumenta a concentração de fumaça dentro do pavimento superior e eleva o risco para os ocupantes.

Gráfico 5 - Evolução de temperatura no vidro da varanda superior (M3) dos dois modelos.



Conforme observado nos três gráficos, os picos de temperatura foram mais evidentes na varanda envidraçada, que teve as barreiras rompidas em um tempo inferior em relação ao experimento com varanda aberta. A cada quebra de vidro, o ambiente do pavimento superior acumula mais fumaça e calor, o que pode gerar a ignição de outros elementos dentro do ambiente, como mobiliários, cortinas e equipamentos elétricos. Na varanda aberta, durante os 20 minutos de simulação, não houve quebra de vidro e, conseqüentemente, não houve exposição de fumaça para os ocupantes do pavimento.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As normas de segurança contra incêndio e pânico demandam uma grande discussão técnica e comprovações científicas dos experimentos. Para que haja credibilidade das exigências é de fundamental importância que sejam realizadas revisões constantes face as mudanças frequentes na construção civil, no uso da moradia e na geração de novos conhecimentos relacionados ao tema.

Como já relatado, os ambientes se transformam ao longo dos períodos da história, adotando diferentes tipos e configurações que demandam ajustes normativos em diversas disciplinas de engenharia e arquitetura. Há, ainda, uma notável evolução das ferramentas e instrumentos que podem incrementar a pesquisa e trazer novos conhecimentos.

No entanto, é perceptível que as mudanças significativas normalmente ocorrem em meio a uma tragédia, onde falha o intuito da norma de incêndio, que é a prevenção, mas também onde, indiscutivelmente, se adquirem novos conhecimentos. Também é indiscutível que os Corpos de Bombeiros no Brasil dispõem de conhecimento técnico acerca da prevenção e combate que devem estar em constante observação nos ajustes necessários a fim de prevenir sinistros que causem perdas de vidas e patrimônio. O corpo técnico da corporação deve dispor de laboratório de testes e simulações que possam servir de parâmetro para ajustes normativos.

A realização de ensaios em escala reduzida se mostrou viável para análise de dinâmicas de propagação de incêndio e resistência de materiais, porém a realidade que poucos Corpo de Bombeiros no Brasil dispõem de locais apropriados para a realização de tal tarefa.

O uso de simulação computacional provou ser uma ferramenta importante para verificar o comportamento do incêndio, servindo de embasamento qualitativo para avaliação de alterações normativas ou emissão de pareceres técnicos que promovam a melhora das normas vigentes.

Neste trabalho, diante do programa de simulação utilizado, resultados, análises e discussões realizadas pode-se concluir que:

- I. A compartimentação de incêndio é uma medida de segurança essencial para proteção e retardamento da generalização do incêndio para outros pavimentos,

sendo que a aplicação correta dos índices citados nas normas pode reduzir os impactos causados pelas chamas, na eventual ocorrência de um sinistro;

- II. Existe a necessidade de reavaliar a cobrança da manutenção do item compartimentação de incêndio, mesmo após a aprovação de projetos devido às alterações frequentes no envoltório da edificação, seja por envidraçamento ou por uso de outros elementos que subtraíam os índices aprovados do projeto de segurança da edificação;
- III. Que os sistemas de fechamento de varanda devem ser reavaliados e ser submetidos a ensaios voltados para segurança contra incêndios, a fim de trazer para o mercado soluções que mantenham as condições de compartimentação, mesmo em caso de intervenções no prédio.
- IV. As normas de prevenção e combate a incêndio devem passar por constantes revisões a fim de se adequar aos novos cenários propostos pelas edificações. Para compartimentação de incêndio, tema principal deste trabalho, existe a necessidade de prever medidas complementares de segurança para varandas envidraçadas, inclusive após aprovação de projetos de incêndio, pois o envidraçamento ocorre a critério de cada morador em tempos diferentes. Ainda existe a necessidade de cobrar a manutenção da compartimentação de incêndio da mesma forma que se cobra outras medidas como extintores, hidrantes e outros aprovados na fase de projeto legal.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se melhorias na distribuição de medidores e nos parâmetros do programa, como a pirolise dos materiais, combustibilidade e ignição podem auxiliar na maior precisão dos dados de resposta. Além disso, outras geometrias podem ser aplicadas para aumentar a confiabilidade e extração de dados.

Acredita-se ainda que a facilidade de acesso e uso de programas de simulação podem servir para adoção de novas funcionalidades e melhorias nas ferramentas e ainda contribuir para adoção de normas de incêndio mais seguras e atualizadas frente as constantes movimentações arquitetônicas dos edifícios.

7 REFERÊNCIAS

ANDRADE, T. M. Compartimentação de Edifícios para a segurança contra incêndio. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2018, 321 p.

AHN, C. S.; BANG, B. H.; KIM, M. W.; KIM, T. G.; JAMES, S. C.; YARIN, A. L.; YOON, S. S. Numerical investigation of smoke dynamics in unconfined and confined environments. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 127, p. 571-582, 2018.

ALBERNEZ, M. P.; LIMA, C. M. Dicionário Ilustrado de Arquitetura. Vol. 2. São Paulo: Pro-Editores, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR7199: Projeção, execução e aplicações de vidros na construção civil. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR13860: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR14925: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. Rio de Janeiro, 2019.

ÁVILA, A.; GONTIJO, J. M.; MACHADO, R. G. Barroco Mineiro Glossário de Arquitetura e Ornamentação. Rio de Janeiro: Co-edição Fundação João Pinheiro, Fundação Roberto Marinho, Companhia Editora Nacional, 1980.

BERTRAN, Paulo. A Construção da Casa no Brasil: reflexões à margem do vernáculo histórico da arquitetura brasileira. *Revista ViverCidades*, v.1, nº. 19, p.8-13, março 2007.

BRAGA, George Cajaty Barbosa; LANDIM, Helen Ramalho de Oliveira. Investigação de incêndio. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. cap. XXII, p. 333-345;

BRANDÃO, Helena Câmara Lacé. A varanda como espaço privado e espaço público no ambiente da casa. *Arquitextos*, São Paulo, ano 09, n. 102.04, Vitruvius, nov. 2008. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/09.102/95>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

BRANDÃO, Helena Câmara Lacé. A varanda na cidade maravilhosa: uma questão de identidade cultural ou de regulamentação. *Arquitextos*, São Paulo, ano 13, n. 147.01, Vitruvius, ago. 2012. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/13.147/4457>>. Acesso em: 06 abr. 2022.

BRANDÃO, Helena Câmara Lacé. *Varanda e Modo de Vida da Zona Sul Carioca*. Tese (doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 450 f., 2009.

BRASIL. Decreto imperial nº 1.775, de 2 de julho de 1856. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1824-1899/decreto-1775-2-julho-1856-571280-publicacaooriginal-94371-pe.html>. Acessado em 24 jul. 2022.

CARLO, Ualfrido del. A segurança contra incêndio no mundo. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. cap. I, p. 1-8;

CHEN, Jianguo et al. Numerical investigation of balcony effect on fire spread. In: *International Symposium on Safety Science and Technology*, 2006, Changsha, China. *Proceedings...* p. 716-720;

COSTA, Carla Neves; ONO, Rosária; SILVA, Valdir Pignatta. A importância da compartimentação e suas implicações no dimensionamento das estruturas de concreto para situação de incêndio. In: CONGRESSO BRASILEIROS DO CONCRETO, 47., 2005, Recife. Anais... 2005. v. 3, p. 1-26;

DEHAAN, John D. Kirk's fire investigation. 6th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2007. p. 45-58;

DI PIETRO, Maria Sylvia Zanella. Direito administrativo I - 29. ed. Rev., atual. e ampl. - Rio de Janeiro: Forense, 2016. 1088 p

DREAN, V. et al. Numerical Simulation of Fire Exposed Façades Using LEPIR II Testing Facility. Fire Technology, v. 54, n. 4, 2018.

DREAN, V. et al. Reconstruction of Grenfell Tower fire. Part 2: A numerical investigation of the fire propagation and behaviour from the initial apartment to the façade. Fire and Materials, v.44, 2019.

ESPÍRITO SANTO. Lei nº 3.218 de 20 de julho de 1978. Dispõe sobre a segurança contra incêndio e pânico com alterações adotadas pela Lei nº 7.990 de 25 de maio de 2005. Vitória, 1978. 2 p.;

ESPÍRITO SANTO. Decreto 2423 -R de 15 de dezembro de 2009 - Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico. Alterado pelo Decreto 3823 -R, de 29 de junho de 2015, alterado pelo Decreto 4062 -R, de 01 de fevereiro de 2017, fixando as medidas para todo o serviço de segurança das pessoas e dos seus bens contra incêndio e pânico no âmbito do território do Estado. Vitória, 1985. 35 p.;

FREYRE, Gilberto. Casas de residência no Brasil - Introdução e notas. In: Revista do Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Vol. 7 Rio de Janeiro: MES, 1943, p. 99 - 127.

GILL, Alfonso Antônio; OLIVEIRA, Sergio Agassi de; NEGRISOLO, Walter. Aprendendo com os grandes incêndios. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 19-34.

HASSANI, S. K., Shields, T. J., and Silcock, G. W., An Experimental Investigation into the Behaviour of Glazing in Enclosure Fire, J. Applied Fire Science 4, 303-323 (1994/5).

JORGE, Liziane De Oliveira. Estratégias de Flexibilidade na Arquitetura Residencial Multifamiliar. Tese (Tese em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 511 f., 2012.

LEMOS, Carlos A. C. A Casa Brasileira. São Paulo: Contexto, 1996.

LIMA, Rogério Cattelan Antochaves de. Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas. 2005. 257 f. Tese (Doutorado em engenharia civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005;

LUZ, V. H. da. Simulação computacional de incêndio em um depósito: análise das principais variáveis que influenciam no comportamento do incêndio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 57., 2015, Bonito. Anais Eletrônicos... Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/283290332_Aplicacao_de_programas_computacionais_para_simulacao_de_incendio>. Acesso em 02 ago. 2022.

MALHORTA, H. L., Fire Safety in Buildings. British Building Research Establishment, Departamento of the Environment, London, 1986.

MARCATTI, Jovelli; COELHO FILHO, Hamilton da Silva; BERQUÓ FILHO, Jolan Eduardo. Compartimentação e afastamento entre edificações. In: SEITO, Alexandre Itiu et al. A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. cap. XI, p. 169- 179

MARCELLI, Maurício. Sinistros na construção civil: Causas e soluções para danos e prejuízos em obras. São Paulo: Pini, 2007. p. 203-224;

Materials Thermal Properties Database. Thermal properties include thermal conductivity, thermal diffusivity, specific heat capacity, thermal effusivity, and material density. Disponível em <https://thermtest.com/thermal-resources/materials-database>. Acessado em 23 jan. 2023.

MCGRATTAN, Kevin et al. Technical Reference Guide: Fire Dynamics Simulator (Version 5). National Institute of Standards and Technology. NIST Special Publication 1018-5. Washington: U.S. Government Printing Office, 2008. 100 p.;

MCGRATTAN, Kevin et al. Fire dynamics simulator (version 6) - technical reference guide. Washington: NIST special publication, 2013. Disponível em: https://github.com/firemodels/fds/releases/download/FDS6.5.3/FDS_User_Guide.pdf Acessado em 24 jul. 2022.

MEIRELLES, Hely Lopes. Direito administrativo brasileiro. 39. ed. São Paulo: Malheiros, 2013. 925 p.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). Manual de protección contra incendios = Fire Protection Handbook. 3. ed. Madrid: Mapfre, 1987. v. 1. p. 422, 486-494; ONO, Rosária. Segurança em xeque. Revista Incêndio, São Paulo, n. 53, p.12-26, Mai. 2008;

NEGRISOLO, Walter. Arquetetando a segurança contra incêndio. 2011. 415 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

NILSSON, Markus et. al. A numerical comparison of protective measures against external fire spread. *Fire and Materials*, v42, n. 5, p. 493-507, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/fam.2527> Acessado em 29 de jul. 2022.

PALLASMAA, Juhami. A Geometria do Sentimento: um olhar sobre a fenomenologia da arquitetura. In: NESBITT, Kate (Org). *Uma Nova Agenda para a Arquitetura :antologia teórica (1965 – 1995)*. São Paulo: Cosac Naify, 2006, p. 487.

PESIC, D. J.; ZIGAR, D. N.; RAOS, M. T.; ANGHEL, I. Simulation of fire spread between residential buildings regarding safe separation distance. *Tehnički vjesnik – Technical Gazette*, Serbia, v. 24, n. 4, p. 1137-1145, 2017.

PMV - PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. Lei 6801 Seção III do capítulo V da Lei 4821 de 30 de dezembro de 1998. Vitória, 2006

PMV - PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. Lei N° 4821 Código de Edificações do Município de Vitória. Vitória, 1998

REIS FILHO, Nestor Goulart. *Quadro da Arquitetura no Brasil*. 8ª edição. São Paulo: Perspectiva, 1987

ROSSO, Teodoro. *Incêndios e arquitetura*. São Paulo: FAUUSP, 1975. p. 115; 265-273;

QUINTIERE, James G. Principles of fire behavior. New York: Delmar Publisher, 1998. p.169-195;

RODRIGUES, E.C.R. Análise da Eficiência do Sistema de Compartimentação Vertical Externa por Afastamento entre Janelas e por Projeções Horizontais Segundo as Exigências Normativas Brasileiras. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

RODRIGUES, José Wash. A Casa de Moradia no Brasil Antigo. In: Revista do Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Vol. 9. Rio de Janeiro: MES, 1945, p.159 – 198.

ROSSO, Teodoro. Incêndios e arquitetura. São Paulo: FAUUSP, 1975. p. 115; 265-273;

SAIA, Luis. O Alpendre nas casas brasileiras. In: Revista do Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Vol. 3. Rio de Janeiro: MES, 1939, p. 239.

SOUZA, Érika da Cunha Victor. Legislação sustentável: diretrizes para incorporação de conceitos de sustentabilidade no código de edificações de Vitória/ES. Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP, v. 22, n. 38, p. 124-139, 2015.

THUNDERHEAD ENGINEERING. PyroSim User Manual. Thunderhead Engineering Consultantes, Manhattan, USA, 2020. Disponível em: < <https://support.thunderheadeng.com/docs/pyrosim/2020-2/user-manual/pdf/pyrosim-user-manual.pdf> > Acesso em 01 de ago. 2022.

YUEN, A.C.Y.; YEOH, G.H.; ALEXANDER, R.; COOK, M. Fire scene reconstruction of a furnished compartment room in a house fire. Case Studies in Fire Safety, v.1, p. 29-35, 2014.

ANEXO A – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADO NO FDS

&HEAD CHID= 'Borges17slow' TITLE=' Incendio crescente slow'/ (comando inicial com nome do arquivo e título)

&TIME T_END= 1200 / (tempo de cálculo = X)

&MISC TMPA=25 / (Mudar temperatura)

&MESH ID='DOMÍNIO 01' XB= 0,3.2, -2,5.2, 0,6, IJK= 32, 72, 60, COLOR=GREEN / (Domínio computacional nos eixos XYZ e precisão de cada um dos eixos) precisão de 10

&SURF ID='tijolo' , COLOR ='RED' , MATL_ID='tijolo' , THICKNESS=0.1 , DEFAULT=TRUE , TRANSPARENCY=0.5 / Escolhendo cor por numeral Red Green Blue

&SURF ID='vidro' , COLOR ='BLUE' ,THICKNESS=0.03, TRANSPARENCY=0.30 / VIDRO AZUL COM TRANSPARENCIA

&MATL ID='tijolo' , CONDUCTIVITY= 0.69, SPECIFIC_HEAT= 0.89, DENSITY= 1600 / Especificações do tijolo (tem como retirar para cálculo ficar mais leve)

&MATL ID='vidro' , CONDUCTIVITY= 1.049, SPECIFIC_HEAT= 0.837, DENSITY= 2300/ CONFERIR ESSES DADOS!!!! <https://thermtest.com/thermal-resources/materials-database>

&SURF ID='Fogo', HRRPUA=9014.2 , COLOR='RED', RAMP_Q='tsquared', / TAXA DE LIBERAÇÃO DE CALOR

&REAC ID='PROPANE', SOOT_YIELD=0.005, / Reação do tipo de queima (propano) e taxa de fuligem

&VENT XB= 1,1.5, 1,1.5, 0,0, SURF_ID='Fogo' / lugar do fogo e sua dimensão de queima

&RAMP ID='tsquared', T= 0.0, F=0.0000 /
&RAMP ID='tsquared', T= 10.0, F=0.0001 /
&RAMP ID='tsquared', T= 20.0, F=0.0005 /
&RAMP ID='tsquared', T= 30.0, F=0.0012 /
&RAMP ID='tsquared', T= 40.0, F=0.0021 /
&RAMP ID='tsquared', T= 50.0, F=0.0033 /
&RAMP ID='tsquared', T= 60.0, F=0.0047 /
&RAMP ID='tsquared', T= 70.0, F=0.0064 /
&RAMP ID='tsquared', T= 80.0, F=0.0083 /
&RAMP ID='tsquared', T= 90.0, F=0.0105 /
&RAMP ID='tsquared', T= 100.0, F=0.0130 /
&RAMP ID='tsquared', T= 110.0, F=0.0157 /
&RAMP ID='tsquared', T= 120.0, F=0.0187 /
&RAMP ID='tsquared', T= 130.0, F=0.0220 /
&RAMP ID='tsquared', T= 140.0, F=0.0255 /
&RAMP ID='tsquared', T= 150.0, F=0.0293 /
&RAMP ID='tsquared', T= 160.0, F=0.0333 /
&RAMP ID='tsquared', T= 170.0, F=0.0376 /
&RAMP ID='tsquared', T= 180.0, F=0.0421 /
&RAMP ID='tsquared', T= 190.0, F=0.0469 /
&RAMP ID='tsquared', T= 200.0, F=0.0520 /
&RAMP ID='tsquared', T= 210.0, F=0.0573 /
&RAMP ID='tsquared', T= 220.0, F=0.0629 /
&RAMP ID='tsquared', T= 230.0, F=0.0688 /
&RAMP ID='tsquared', T= 240.0, F=0.0749 /
&RAMP ID='tsquared', T= 250.0, F=0.0813 /

&RAMP ID='tsquared', T= 260.0, F=0.0879 /
&RAMP ID='tsquared', T= 270.0, F=0.0948 /
&RAMP ID='tsquared', T= 280.0, F=0.1019 /
&RAMP ID='tsquared', T= 290.0, F=0.1093 /
&RAMP ID='tsquared', T= 300.0, F=0.1170 /
&RAMP ID='tsquared', T= 310.0, F=0.1249 /
&RAMP ID='tsquared', T= 320.0, F=0.1331 /
&RAMP ID='tsquared', T= 330.0, F=0.1416 /
&RAMP ID='tsquared', T= 340.0, F=0.1503 /
&RAMP ID='tsquared', T= 350.0, F=0.1593 /
&RAMP ID='tsquared', T= 360.0, F=0.1685 /
&RAMP ID='tsquared', T= 370.0, F=0.1780 /
&RAMP ID='tsquared', T= 380.0, F=0.1877 /
&RAMP ID='tsquared', T= 390.0, F=0.1978 /
&RAMP ID='tsquared', T= 400.0, F=0.2080 /
&RAMP ID='tsquared', T= 410.0, F=0.2186 /
&RAMP ID='tsquared', T= 420.0, F=0.2294 /
&RAMP ID='tsquared', T= 430.0, F=0.2404 /
&RAMP ID='tsquared', T= 440.0, F=0.2517 /
&RAMP ID='tsquared', T= 450.0, F=0.2633 /
&RAMP ID='tsquared', T= 460.0, F=0.2751 /
&RAMP ID='tsquared', T= 470.0, F=0.2872 /
&RAMP ID='tsquared', T= 480.0, F=0.2996 /
&RAMP ID='tsquared', T= 490.0, F=0.3122 /
&RAMP ID='tsquared', T= 500.0, F=0.3250 /
&RAMP ID='tsquared', T= 510.0, F=0.3382 /

&RAMP ID='tsquared', T= 520.0, F=0.3516 /
&RAMP ID='tsquared', T= 530.0, F=0.3652 /
&RAMP ID='tsquared', T= 540.0, F=0.3791 /
&RAMP ID='tsquared', T= 550.0, F=0.3933 /
&RAMP ID='tsquared', T= 560.0, F=0.4077 /
&RAMP ID='tsquared', T= 570.0, F=0.4224 /
&RAMP ID='tsquared', T= 580.0, F=0.4374 /
&RAMP ID='tsquared', T= 590.0, F=0.4526 /
&RAMP ID='tsquared', T= 600.0, F=0.4681 /
&RAMP ID='tsquared', T= 610.0, F=0.4838 /
&RAMP ID='tsquared', T= 620.0, F=0.4998 /
&RAMP ID='tsquared', T= 630.0, F=0.5160 /
&RAMP ID='tsquared', T= 640.0, F=0.5326 /
&RAMP ID='tsquared', T= 650.0, F=0.5493 /
&RAMP ID='tsquared', T= 660.0, F=0.5664 /
&RAMP ID='tsquared', T= 670.0, F=0.5836 /
&RAMP ID='tsquared', T= 680.0, F=0.6012 /
&RAMP ID='tsquared', T= 690.0, F=0.6190 /
&RAMP ID='tsquared', T= 700.0, F=0.6371 /
&RAMP ID='tsquared', T= 710.0, F=0.6554 /
&RAMP ID='tsquared', T= 720.0, F=0.6740 /
&RAMP ID='tsquared', T= 730.0, F=0.6929 /
&RAMP ID='tsquared', T= 740.0, F=0.7120 /
&RAMP ID='tsquared', T= 750.0, F=0.7313 /
&RAMP ID='tsquared', T= 760.0, F=0.7510 /
&RAMP ID='tsquared', T= 770.0, F=0.7709 /

&RAMP ID='tsquared', T= 780.0, F=0.7910 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 790.0, F=0.8114 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 800.0, F=0.8321 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 810.0, F=0.8530 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 820.0, F=0.8742 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 830.0, F=0.8957 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 840.0, F=0.9174 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 850.0, F=0.9394 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 860.0, F=0.9616 /
 &RAMP ID='tsquared', T= 870.0, F=0.9841 /

&VENT MB= YMIN , SURF_ID='OPEN' / Abertura pro mundo externo ao MESH EIXO Y
 &VENT MB= ZMAX , SURF_ID='OPEN' / Abertura pro mundo externo ao MESH EIXO z
 &VENT MB= XMAX , SURF_ID='OPEN' / Abertura pro mundo externo ao MESH EIXO X
 &VENT MB= XMIN , SURF_ID='OPEN' / Abertura pro mundo externo ao MESH EIXO X

PAREDES ENVOLTÓRIO

&OBST XB= 0,0.1, 0,5.2, 0,6, SURF_ID='tijolo' /
 &OBST XB= 0,3.2, 5.1,5.2, 0,6, SURF_ID='tijolo' /
 &OBST XB= 3.1,3.2 0,5.2, 0,6, SURF_ID='tijolo' /

TETOS

&OBST XB= 0,3.2 0,5.2, 5.9,6, SURF_ID='tijolo' /
 &OBST XB= 0,3.2 0,5.2, 2.9,3, SURF_ID='tijolo' /

SOCO

&OBST XB= 0,3.2, 0,0.1, 0,0.1 SURF_ID='tijolo' /

&OBST XB= 0,3.2, 0,0.1, 3,3.1 SURF_ID='tijolo' /

PAREDE

&OBST XB= 0,3.2, 0,0.1, 2.8,2.9 SURF_ID='tijolo' /

&OBST XB= 0,3.2, 0,0.1, 5.8,5.9 SURF_ID='tijolo' /

GUARDA-CORPO DE VIDRO

&OBST XB= 0.1,3.1 0,0.1 0.1,1.1, SURF_ID='vidro' /

&OBST XB= 0.1,3.1 0,0.1 3.1,4.1, SURF_ID='vidro' /

FECHAMENTO DE VARANDA VIDRO

&OBST XB= 0.1,3.1 0,0.1, 1.1,2.8, SURF_ID='vidro' /

&OBST XB= 0.1,3.1 0,0.1, 4.1,5.8, SURF_ID='vidro' /

DEVC ID='Temp01' XYZ=1.6, 0.1, 2, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&DEVC ID='Temp02' XYZ=1.6, 0.5, 5.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /

DEVC ID='Fluxo01' XYZ=1.6, 0.1, 2.7, IOR=2, QUANTITY='NET HEAT FLUX' /

DEVC ID='Fluxo02' XYZ=1.6,0.6,5.5, IOR= 2 , QUANTITY='NET HEAT FLUX' /

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE' /

&HOLE XB= 0.1,3.1, 0,0.1, 1.1,2.8, DEVC_ID='ABRIR'/ ABERTURA EM
FACHADA DE VIDRO

&DEVC ID='ABRIR', XYZ=1.6, 0.2, 2.6, IOR=2, QUANTITY='TEMPERATURE',
SETPOINT= 450, INITIAL_STATE=.FALSE./

&HOLE XB= 0.1,3.1, 0,0.1, 3.1,4.1, DEVC_ID='ABRIR2'/ ABERTURA EM
GUARDA-CORPO DE VIDRO

&DEVC ID='ABRIR2', XYZ=1.6, -0.1, 3.6, IOR=-2, QUANTITY='TEMPERATURE',
SETPOINT=450, INITIAL_STATE=.FALSE./

&HOLE XB= 0.1,3.1, 0,0.1, 4.1,5.8, DEVC_ID='ABRIR3'/ ABERTURA EM
FACHADA DE VIDRO

&DEVC ID='ABRIR3', XYZ=1.6, -0.1, 5.4, IOR=-2, QUANTITY='TEMPERATURE',
SETPOINT=450, INITIAL_STATE=.FALSE./

&SLCF PBX= 1.6, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&SLCF PBX= 1.6, QUANTITY='VISIBILITY' /

&SLCF PBY= 1.2, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&SLCF PBY= 1.2, QUANTITY='VISIBILITY' /

&DUMP DT_PL3D=10 /

&TAIL / (Para finalizar)

ANEXO B – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADO NO FDS

&HEAD CHID= 'Borges018slow' TITLE=' Incendio crescente COM VARANDA slow' /
(comando inicial com nome do arquivo e título)

&TIME T_END= 1200/ (tempo de cálculo = X)

&MISC TMPA=25 / (Mudar temperatura)

&MESH ID='DOMÍNIO 01' XB= 0,3.2, -2,5.2, 0,6, IJK= 32, 72, 60, COLOR=GREEN /
(Domínio computacional nos eixos XYZ e precisão de cada um dos eixos) precisão de
10

&SURF ID='tijolo' , COLOR ='RED' , MATL_ID='tijolo' , THICKNESS=0.1 ,
DEFAULT=TRUE , TRANSPARENCY=0.5 / Escolhendo cor por numeral Red Green
Blue

&SURF ID='vidro' , COLOR ='BLUE' ,THICKNESS=0.03, TRANSPARENCY=0.30 /
VIDRO AZUL COM TRANSPARENCIA

&MATL ID='tijolo' , CONDUCTIVITY= 0.69, SPECIFIC_HEAT= 0.89, DENSITY= 1600 /
Especificações do tijolo (tem como retirar para cálculo ficar mais leve)

&MATL ID='vidro' , CONDUCTIVITY= 1.049, SPECIFIC_HEAT= 0.837, DENSITY= 2300/
CONFERIR ESSES DADOS!!!! <https://thermtest.com/thermal-resources/materials-database>

&SURF ID='Fogo', HRRPUA=9014.2 , COLOR='RED', RAMP_Q='tsquared', / TAXA DE
LIBERAÇÃO DE CALOR

&REAC ID='PROPANE', SOOT_YIELD=0.01, / Reação do tipo de queima (propano) e
taxa de fuligem

&VENT XB= 1.3,1.8, 2,2.5, 0,0, SURF_ID='Fogo' / lugar do fogo e sua dimensão de
queima

&RAMP ID='tsquared', T= 0.0, F=0.0000 /
&RAMP ID='tsquared', T= 10.0, F=0.0001 /
&RAMP ID='tsquared', T= 20.0, F=0.0005 /
&RAMP ID='tsquared', T= 30.0, F=0.0012 /
&RAMP ID='tsquared', T= 40.0, F=0.0021 /
&RAMP ID='tsquared', T= 50.0, F=0.0033 /
&RAMP ID='tsquared', T= 60.0, F=0.0047 /
&RAMP ID='tsquared', T= 70.0, F=0.0064 /
&RAMP ID='tsquared', T= 80.0, F=0.0083 /
&RAMP ID='tsquared', T= 90.0, F=0.0105 /
&RAMP ID='tsquared', T= 100.0, F=0.0130 /
&RAMP ID='tsquared', T= 110.0, F=0.0157 /
&RAMP ID='tsquared', T= 120.0, F=0.0187 /
&RAMP ID='tsquared', T= 130.0, F=0.0220 /
&RAMP ID='tsquared', T= 140.0, F=0.0255 /
&RAMP ID='tsquared', T= 150.0, F=0.0293 /
&RAMP ID='tsquared', T= 160.0, F=0.0333 /
&RAMP ID='tsquared', T= 170.0, F=0.0376 /
&RAMP ID='tsquared', T= 180.0, F=0.0421 /
&RAMP ID='tsquared', T= 190.0, F=0.0469 /
&RAMP ID='tsquared', T= 200.0, F=0.0520 /
&RAMP ID='tsquared', T= 210.0, F=0.0573 /
&RAMP ID='tsquared', T= 220.0, F=0.0629 /
&RAMP ID='tsquared', T= 230.0, F=0.0688 /
&RAMP ID='tsquared', T= 240.0, F=0.0749 /
&RAMP ID='tsquared', T= 250.0, F=0.0813 /

&RAMP ID='tsquared', T= 260.0, F=0.0879 /
&RAMP ID='tsquared', T= 270.0, F=0.0948 /
&RAMP ID='tsquared', T= 280.0, F=0.1019 /
&RAMP ID='tsquared', T= 290.0, F=0.1093 /
&RAMP ID='tsquared', T= 300.0, F=0.1170 /
&RAMP ID='tsquared', T= 310.0, F=0.1249 /
&RAMP ID='tsquared', T= 320.0, F=0.1331 /
&RAMP ID='tsquared', T= 330.0, F=0.1416 /
&RAMP ID='tsquared', T= 340.0, F=0.1503 /
&RAMP ID='tsquared', T= 350.0, F=0.1593 /
&RAMP ID='tsquared', T= 360.0, F=0.1685 /
&RAMP ID='tsquared', T= 370.0, F=0.1780 /
&RAMP ID='tsquared', T= 380.0, F=0.1877 /
&RAMP ID='tsquared', T= 390.0, F=0.1978 /
&RAMP ID='tsquared', T= 400.0, F=0.2080 /
&RAMP ID='tsquared', T= 410.0, F=0.2186 /
&RAMP ID='tsquared', T= 420.0, F=0.2294 /
&RAMP ID='tsquared', T= 430.0, F=0.2404 /
&RAMP ID='tsquared', T= 440.0, F=0.2517 /
&RAMP ID='tsquared', T= 450.0, F=0.2633 /
&RAMP ID='tsquared', T= 460.0, F=0.2751 /
&RAMP ID='tsquared', T= 470.0, F=0.2872 /
&RAMP ID='tsquared', T= 480.0, F=0.2996 /
&RAMP ID='tsquared', T= 490.0, F=0.3122 /
&RAMP ID='tsquared', T= 500.0, F=0.3250 /
&RAMP ID='tsquared', T= 510.0, F=0.3382 /

&RAMP ID='tsquared', T= 520.0, F=0.3516 /
&RAMP ID='tsquared', T= 530.0, F=0.3652 /
&RAMP ID='tsquared', T= 540.0, F=0.3791 /
&RAMP ID='tsquared', T= 550.0, F=0.3933 /
&RAMP ID='tsquared', T= 560.0, F=0.4077 /
&RAMP ID='tsquared', T= 570.0, F=0.4224 /
&RAMP ID='tsquared', T= 580.0, F=0.4374 /
&RAMP ID='tsquared', T= 590.0, F=0.4526 /
&RAMP ID='tsquared', T= 600.0, F=0.4681 /
&RAMP ID='tsquared', T= 610.0, F=0.4838 /
&RAMP ID='tsquared', T= 620.0, F=0.4998 /
&RAMP ID='tsquared', T= 630.0, F=0.5160 /
&RAMP ID='tsquared', T= 640.0, F=0.5326 /
&RAMP ID='tsquared', T= 650.0, F=0.5493 /
&RAMP ID='tsquared', T= 660.0, F=0.5664 /
&RAMP ID='tsquared', T= 670.0, F=0.5836 /
&RAMP ID='tsquared', T= 680.0, F=0.6012 /
&RAMP ID='tsquared', T= 690.0, F=0.6190 /
&RAMP ID='tsquared', T= 700.0, F=0.6371 /
&RAMP ID='tsquared', T= 710.0, F=0.6554 /
&RAMP ID='tsquared', T= 720.0, F=0.6740 /
&RAMP ID='tsquared', T= 730.0, F=0.6929 /
&RAMP ID='tsquared', T= 740.0, F=0.7120 /
&RAMP ID='tsquared', T= 750.0, F=0.7313 /
&RAMP ID='tsquared', T= 760.0, F=0.7510 /
&RAMP ID='tsquared', T= 770.0, F=0.7709 /

&RAMP ID='tsquared', T= 780.0, F=0.7910 /

&RAMP ID='tsquared', T= 790.0, F=0.8114 /

&RAMP ID='tsquared', T= 800.0, F=0.8321 /

&RAMP ID='tsquared', T= 810.0, F=0.8530 /

&RAMP ID='tsquared', T= 820.0, F=0.8742 /

&RAMP ID='tsquared', T= 830.0, F=0.8957 /

&RAMP ID='tsquared', T= 840.0, F=0.9174 /

&RAMP ID='tsquared', T= 850.0, F=0.9394 /

&RAMP ID='tsquared', T= 860.0, F=0.9616 /

&RAMP ID='tsquared', T= 870.0, F=0.9841 /

&VENT MB= YMIN , SURF_ID='OPEN' / Abertura pro mundo externo ao MESH EIXO Y

&VENT MB= ZMAX , SURF_ID='OPEN' / Abertura pro mundo externo ao MESH EIXO z

&VENT MB= XMAX , SURF_ID='OPEN' / Abertura pro mundo externo ao MESH EIXO X

&VENT MB= XMIN , SURF_ID='OPEN' / Abertura pro mundo externo ao MESH EIXO X

PAREDES ENVOLTÓRIO

&OBST XB= 0,0.1, 0,5.2, 0,6, SURF_ID='tijolo' /

&OBST XB= 0,3.2, 5.1,5.2, 0,6, SURF_ID='tijolo' /

&OBST XB= 3.1,3.2 0,5.2, 0,6, SURF_ID='tijolo' /

TETOS

&OBST XB= 0,3.2 0,5.2, 5.9,6, SURF_ID='tijolo' /

&OBST XB= 0,3.2 0,5.2, 2.9,3, SURF_ID='tijolo' /

SOCO

&OBST XB= 0,3.2, 0,0.1, 0,0.1 SURF_ID='tijolo' /

&OBST XB= 0,3.2, 0,0.1, 3,3.1 SURF_ID='tijolo' /

PAREDE

&OBST XB= 0,3.2, 0,0.1, 2.8,2.9 SURF_ID='tijolo' /

&OBST XB= 0,3.2, 0,0.1, 5.8,5.9 SURF_ID='tijolo' /

GUARDA-CORPO DE VIDRO

&OBST XB= 0.1,3.1 0,0.1 0.1,1.1, SURF_ID='vidro' /

&OBST XB= 0.1,3.1 0,0.1 3.1,4.1, SURF_ID='vidro' /

FECHAMENTO DE VARANDA VIDRO

OBST XB= 0.1,3.1 0,0.1, 1.1,2.8, SURF_ID='vidro' /

OBST XB= 0.1,3.1 0,0.1, 4.1,5.8, SURF_ID='vidro' /

PORTA DA VARANDA

&OBST XB= 0.1,3.1 1.5,1.6, 0,2.1, SURF_ID='vidro' /

&OBST XB= 0.1,3.1 1.5,1.6, 3,5.1, SURF_ID='vidro' /

&OBST XB= 0,3.2, 1.5,1.6, 2.1,2.9 SURF_ID='tijolo' /

&OBST XB= 0,3.2, 1.5,1.6, 5.1,5.9 SURF_ID='tijolo' /

DEVC ID='Temp01' XYZ=1.6, 0.1, 2, QUANTITY='TEMPERATURE' /

DEVC ID='Temp02' XYZ=1.6, 0, 5.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /

DEVC ID='Fluxo01' XYZ=1.6, 0.1, 2.7, IOR=2, QUANTITY='NET HEAT FLUX' /

DEVC ID='HF01' XYZ=1.6,0.1,2.7, IOR= 2 , QUANTITY='NET HEAT FLUX' /

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE' /

&HOLE XB= 0.1,3.1 1.5,1.6, 0,2.1, DEVC_ID='ABRIR'/ ABERTURA EM
FACHADA DE VIDRO

&DEVC ID='ABRIR', XYZ=1.6, 1.7, 1.9, IOR=2, QUANTITY='TEMPERATURE',
SETPOINT= 450, INITIAL_STATE=.FALSE./

&HOLE XB= 0.1,3.1, 0,0.1, 3.1,4.1, DEVC_ID='ABRIR2'/ ABERTURA EM
GUARDA-CORPO DE VIDRO

&DEVC ID='ABRIR2', XYZ=1.6, -0.1, 3.6, IOR=-2, QUANTITY='TEMPERATURE',
SETPOINT=450, INITIAL_STATE=.FALSE./

&HOLE XB= 0.1,3.1 1.5,1.6, 3,5.1, DEVC_ID='ABRIR3'/ ABERTURA EM
FACHADA DE VIDRO

&DEVC ID='ABRIR3', XYZ=1.6, 1.4, 4.9, IOR=-2, QUANTITY='TEMPERATURE',
SETPOINT=450, INITIAL_STATE=.FALSE./

SLCF PBX= 1.2, QUANTITY='TEMPERATURE' /

SLCF PBX= 1.5, QUANTITY='VISIBILITY' /

SLCF PBY= 1.2, QUANTITY='TEMPERATURE' /

SLCF PBY= 1.2, QUANTITY='VISIBILITY' /

&DUMP DT_PL3D=10 /

&TAIL / (Para finalizar)