

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE
COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EXTERNA POR
AFASTAMENTO ENTRE JANELAS E POR PROJEÇÕES
HORIZONTAIS SEGUNDO AS EXIGÊNCIAS NORMATIVAS
BRASILEIRAS**

Eduardo Estêvam Camargo Rodrigues

Porto Alegre
2009

Eduardo Estêvam Camargo Rodrigues

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE
COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EXTERNA POR
AFASTAMENTO ENTRE JANELAS E POR PROJEÇÕES
HORIZONTAIS SEGUNDO AS EXIGÊNCIAS NORMATIVAS
BRASILEIRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Orientação: Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho.

Porto Alegre
2009

RODRIGUES, Eduardo Estêvam Camargo

Análise da eficiência dos sistemas de compartimentação vertical externa por afastamento entre janelas e por projeções horizontais segundo as exigências normativas brasileiras / Eduardo Estêvam Camargo Rodrigues. – Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2009.

Dissertação de mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; mestre em engenharia. Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho.

Assunto: I. Normas II. Incêndio III. Propagação vertical IV. Compartimentação V. Eficiência

EDUARDO ESTÊVAM CAMARGO RODRIGUES

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE
COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EXTERNA POR
AFASTAMENTO ENTRE JANELAS E POR PROJEÇÕES
HORIZONTAIS SEGUNDO AS EXIGÊNCIAS NORMATIVAS
BRASILEIRAS**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Meio Ambiente, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 1º de julho de 2009.

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luiz Antônio Bressani (UFRGS)
PhD pela Universidade de Londres – Reino Unido

Prof. Hélio Adão Greven (UFRGS)
Dr. pela Universität Hannover (Alemanha)

Prof. Rogério Cattelan Antochaves de Lima (UniPampa)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. George Cajaty Barbosa Braga (UnB)
Dr. pela Universidade de Brasília

Dedico este trabalho ao Coronel Joel Prates Pedroso e ao
Sr. Israel João Zandoná, apoiadores incondicionais e
imprescindíveis à minha qualificação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida, por estar a proteger-me dos percalços desta, e porque sua misericórdia dura para sempre.

Aos meus pais, alicerces do meu caráter. Vosso esforço e dedicação recompensarei com um legado meritório.

À Ana Paula, eterna companheira, cujas tenras palavras confortaram e mantiveram o equilíbrio necessário à consecução deste trabalho. Alento do meu coração. Mesmo sabedora da renúncia temporária aos objetivos comuns, estimulou-me a ser perseverante em minhas aspirações.

Aos irmãos Maximiliano, Ismael, João Batista, João Perusso e Mateus Zandoná, por todas as inesquecíveis manifestações de apreço, confiança e crença em minhas conquistas.

Ao meu avô Antão Rodrigues e à minha tia Maria Helena, participantes ativos em minha vida, faço esta deferência póstuma, ciente de que mesmo não acompanhando fisicamente este intento, estão felizes por meus objetivos alcançados.

Aos professores e amigos Dario Klein, João Campagnolo e Rogério Cattelan por acreditarem em meu potencial. Norteadores deste ideal, vossas palavras estimuladoras iluminaram as idéias e apontaram direções concretas.

Ao orientador e grande amigo Prof. Luiz Carlos, por jamais titubear diante de minhas dúvidas e esmorecimentos. Durante esta trajetória, seus ensinamentos transcenderam o meio acadêmico, tornaram-se lições de vida. Foste um incentivador imparcial nos momentos adequados, sabedor de que a criatividade é a instintiva manifestação da motivação. Hiberna ao descaso. Desperta ao sublime incentivo.

Ao 1º Comando Regional de Bombeiros, bem representado pelo seu conspícuo comandante Tenente Coronel Altair de Freitas Cunha, por possibilitar a realização dos ensaios em suas dependências, consciente da importância da qualificação de seus profissionais, bem como permitir a colaboração fundamental do Sargento Geraldo e Soldado Assunção durante a pesquisa, a quem humildemente agradeço.

Aos grandes amigos e irmãos de farda da Corporação à qual orgulho-me pertencer, Major Adriano Krukoski e Capitão Vitamar Dutra, não só pelo relevante apoio à minha pessoa, pelo que serei eternamente grato, mas também pelo reconhecimento da importância em buscarmos o conhecimento e o aperfeiçoamento constantemente, objetivando fortalecer ainda mais o Corpo de Bombeiros da Brigada Militar.

Aos oficiais bombeiros do Distrito Federal, Capitão George Cajaty B. Braga e Tenente Gabriel, aos quais permito-me chamar de amigos, reconheço primeiramente a prestatividade aos meus pleitos. Também, ao capitão George, agradeço os ensinamentos, os subsídios literários e científicos a mim disponibilizados para que tornasse tangível esta pesquisa.

À CEEE-D, brilhantemente representada pelo Prof. Luiz Rosa Vieira, o qual coordenou a realização das verificações através da termografia.

Ao Prof. Milton Zaro pela disponibilização do seu equipamento termógrafo, bem como de sua colaboração na coleta dos dados, e estímulo à importância do tema.

Aos colegas da comunicação social da Brigada Militar, amigos de convivência diária à época do início de minha jornada acadêmica, minhas sinceras manifestações de respeito e reconhecimento.

Aos amigos da Defesa Civil do Estado, em especial ao Tenente Coronel Carbone, Major Fernando, Capitães Gustavo, Santini e Góí, pelo apoio irrestrito e pelo resguardo. A medida dos amigos não se vê na forma como se comportam em momentos de conforto e convivência, mas como se mantêm em tempos de controvérsia e desafio.

Aos bolsistas de iniciação científica, graduandos de engenharia Pedro, Josué e Juliane, pela dedicação ao desenvolvimento da pesquisa. O grande interesse e entusiasmo manifestado pela realização dos ensaios demonstram o quão alto será o quilate destes já valorosos profissionais.

A todos os integrantes do PPGEC/UFRGS e do LEME, em especial à amiga Liliane, pelo acolhimento e fraterno convívio, onde sempre encontro um ambiente agradável e propício aos estudos.

Às empresas CRIATIVA- Comércio de forros, e SULFRAX- Soluções térmicas, pela disponibilização dos materiais resistentes ao fogo de altíssima qualidade que garantiram a eficiência dos ensaios no simulador de incêndio.

Não sei o que o destino lhes reserva, mas sei de uma coisa:
os únicos dentre vocês que serão de fato felizes serão
aqueles que buscarem aprender a servir.

Albert Schweitzer

RESUMO

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.

Os códigos brasileiros de segurança contra incêndio e pânico (SCIP) possuem inúmeras divergências no que tange aos detalhamentos exigidos para a instalação de diversos sistemas de prevenção e proteção. Dentre eles, existe o sistema estrutural de compartimentação vertical externa, o qual prescreve afastamento vertical entre janelas ou construção de projeções horizontais externas entre as aberturas, para limitação da propagação do fogo aos pavimentos acima consecutivos. Comprovadamente, as normas referenciam a necessidade de resistência ao fogo dos materiais constituintes do sistema, no entanto, não indicam a eficiência ao objetivo proposto, confinar o fogo em seu compartimento de origem ou retardar sua propagação. O objetivo deste trabalho é analisar, sob a ótica da dinâmica de propagação do incêndio, a eficiência do sistema de compartimentação vertical externa por afastamento entre as janelas e por implantação de projeções horizontais como continuidade dos pisos, segundo os detalhamentos exigidos nas normas brasileiras. Para tanto, foram realizados ensaios de campo em escala reduzida (1/3), com diferentes configurações de fachadas e cargas de incêndio, sem vento, utilizando-se termopares, termografia e fotografia. Também, foi utilizado o simulador computacional da dinâmica do incêndio *Fire Dynamics Simulator 5*, onde foram analisados cenários desenvolvidos conforme as exigências normativas nacionais. Ambos programas experimentais apresentaram dados coerentes, podendo ser potenciais ferramentas para análise da eficiência de outros sistemas. Os resultados confirmaram que a geometria da edificação e das aberturas modificam a dinâmica de propagação do fogo. Para a carga de incêndio classificada como risco baixo, mostraram-se satisfatórias todas as configurações com afastamentos de 3 m e de 1,2 m para aberturas estreitas, bem como as projeções horizontais de 90 cm. Como risco médio, à exceção do afastamento de 3m, com pé-direito convencional, os demais não contiveram adequadamente a propagação do fogo. Também, para ambas geometrias de abertura, a projeção horizontal externa de 90 cm aperfeiçoou os resultados, retardando o aquecimento consideravelmente.

Palavras-chave: compartimentação vertical externa; segurança contra incêndio e pânico; propagação do incêndio; normas; eficiência.

ABSTRACT

RODRIGUES, E.C.R. Analysis of the efficiency of the External Vertical Compartmentation Systems for Separation Between Windows and External Horizontal Projections According to Brazilian's Fire Safety Codes. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

The Brazilian's fire safety Codes have much discrepancy about the installation details of the several fire safety systems. The external vertical compartmentation is one of them, which determine vertical separation between windows or placement of external horizontal projections in continuity with floors, to limits the spread of fire toward upper habitations. The fire resistances of the materials constituent these systems are confirmed in the Brazilian's fire safety Codes. However, there aren't mentions about the efficiency to restrict the fire in initial compartment or to retard it spread. In this context, the study's objective is to analyze, in the fire spread dynamic's view, the efficiency of the external vertical compartmentation systems for separation between windows and external horizontal projections according to the Brazilian's fire safety Codes. For it, were carried out field tests in reduce-scale compartments (1/3), with different façade settings and loads fire, no wind, using thermocouples, thermography and photography. Also, was used the software Fire Dynamics Simulator (FDS), 5th version. In the FDS were developed and analyzed fire sceneries, which contemplated all settings of the national standards. Both experimental programs can be potential tools to analysis of the efficiency another fire safety systems, because they showed coherent data's. The results confirmed that building's geometry and openings configuration modify the fire spread dynamics. For load fire classified as low risk, all separations between windows with distance 3 m, 1,2 m with square windows and external horizontal projection with length 90 cm showed satisfactory results. For load fire classified as medium risk, the separation between openings didn't restrain the fire spread, except the arrangement with distance 3m, square windows and lower ceiling. Also, the horizontal projection with 90 cm length showed best results for both window forms, delaying the heating.

Keywords: external vertical compartmentation; fire safety; spread fire; Brazilian's codes; efficiency.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	23
1.2	OBJETIVOS	25
1.3	JUSTIFICATIVA	26
1.4	METODOLOGIA.....	27
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	28
2	CONCEITOS BÁSICOS PARA A SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO	30
2.1	CONCEITO E DIMENSIONAMENTO DO GRAU DE RISCO.....	30
2.2	CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO	34
2.3	FASES DO INCÊNDIO	38
2.3.1	Ignição	39
2.3.2	Fase de aquecimento ou <i>pré-flashover</i>	39
2.3.3	Fase do incêndio completamente desenvolvido ou <i>pós-flashover</i>	42
2.3.4	Fase de decaimento ou resfriamento do incêndio.....	42
2.3.5	Curva temperatura-tempo	42
2.4	COMPARTIMENTAÇÃO.....	47
3	PANORAMA GERAL DA NORMATIZAÇÃO DE SCIP	54
3.1	HISTÓRICO DA NORMATIZAÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO NO BRASIL	54
3.2	COMPETÊNCIA DOS CORPOS DE BOMBEIROS PARA A NORMATIZAÇÃO E A FISCALIZAÇÃO.....	55
3.3	PANORAMA DA NORMATIZAÇÃO INTERNACIONAL SOBRE COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EXTERNA	57
3.3.1	Comunidade Européia	57
3.3.2	Escócia.....	59
3.3.3	Espanha.....	60
3.3.4	Estados Unidos da América.....	61
3.3.5	França	62
3.3.6	Japão	63
3.3.7	Reino Unido.....	63
3.3.8	Portugal.....	64

3.3.9 Suécia	65
3.4 PANORAMA GERAL DA NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA SOBRE COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EXTERNA	66
3.4.1 Considerações preliminares	66
3.4.2 Referências normativas.....	67
3.4.3 Panorama geral das normas brasileiras.....	69
3.4.3.1 Acre	69
3.4.3.2 Alagoas	69
3.4.3.3 Amapá.....	69
3.4.3.4 Amazonas	70
3.4.3.5 Bahia.....	70
3.4.3.6 Ceará.....	70
3.4.3.7 Distrito Federal	71
3.4.3.8 Espírito Santo	71
3.4.3.9 Goiás	72
3.4.3.10 Maranhão	72
3.4.3.11 Mato Grosso	73
3.4.3.12 Mato Grosso do Sul	73
3.4.3.13 Minas Gerais.....	74
3.4.3.14 Pará.....	74
3.4.3.15 Paraíba	75
3.4.3.16 Paraná	75
3.4.3.17 Pernambuco	76
3.4.3.18 Piauí.....	77
3.4.3.19 Rio de Janeiro	77
3.4.3.20 Rio Grande do Norte	78
3.4.3.21 Rio Grande do Sul	78
3.4.3.22 Rondônia.....	80
3.4.3.23 Roraima	81
3.4.3.24 Santa Catarina.....	81
3.4.3.25 São Paulo	82
3.4.3.26 Sergipe.....	85
3.4.3.27 Tocantins	85
3.5 RESUMO DAS EXIGÊNCIAS DA COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EXTERNA NO BRASIL	86

4	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIO - FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS)	88
4.1	CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	88
4.2	PRINCÍPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMENTO DO FDS	89
4.3	OBJETIVOS DO FIRE DYNAMICS SIMULATOR.....	92
4.4	ESTUDOS GERAIS REALIZADOS UTILIZANDO O FDS	93
5	ESTUDOS REALIZADOS SOBRE A DINÂMICA DO INCÊNDIO ATRAVÉS DAS ABERTURAS EXTERNAS	98
6	PROGRAMA EXPERIMENTAL	111
6.1	CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	111
6.2	SIMULAÇÃO DE INCÊNDIO EM ESCALA REDUZIDA.....	111
6.2.1	Simulador de incêndio em escala reduzida.....	111
6.2.2	Equipamentos utilizados.....	116
6.2.3	Procedimentos de ensaio	117
6.2.3.1	Carga de incêndio	117
6.2.3.2	Reprodução do incêndio em escala reduzida.....	117
6.2.3.3	Especificação dos ensaios.....	119
6.3	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIO	120
6.3.1	Software e equipamento utilizado	120
6.3.2	Cargas de incêndio.....	120
6.3.3	Delimitação da área de cálculo	121
6.3.4	Verificação das temperaturas atingidas e taxas de liberação de calor.....	122
6.3.5	Cenários desenvolvidos	123
7	RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO	127
7.1	DINÂMICA DO INCÊNDIO.....	127
7.1.1	Dinâmica do incêndio no compartimento.....	127
7.1.2	Dinâmica das chamas e da pluma através das janelas	131
7.1.3	Eficiência dos afastamentos e das projeções horizontais entre aberturas.....	132
7.1.3.1	Risco baixo	132
7.1.3.2	Risco médio	135
7.2	ANÁLISE COMPARATIVA POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIO (FDS 5).....	142
7.2.1	Análise da dinâmica do incêndio para risco baixo	142

7.2.2	Análise da dinâmica do incêndio para risco médio	148
7.3	ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EXTERNA SEGUNDO AS EXIGÊNCIAS NORMATIVAS BRASILEIRAS	154
7.3.1	Análise da eficiência das configurações para edificações de risco baixo.....	154
7.3.2	Análise da eficiência das configurações para edificações de risco médio	155
7.3.2.1	Eficiência da compartimentação vertical externa para janelas estreitas.....	157
7.3.2.2	Eficiência da compartimentação vertical externa para janelas largas	161
8	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	164
8.1	CONCLUSÕES	164
8.1.1	Generalidades	164
8.1.2	Conclusões específicas	165
8.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	167
	REFERÊNCIAS	168

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de liberação de calor de uma sala de estar incendiada (<i>Fire Research Station</i> , s.d. <i>apud</i> DeHaan, 2007).....	41
Figura 2 – Curva de liberação de calor de um dormitório (<i>California Bureau of Home Furnishings and Thermal insulation</i> s.d. <i>apud</i> DeHaan, 2007)	41
Figura 3 – Exemplo esquemático de uma curva temperatura-tempo de um incêndio natural e suas fases	43
Figura 4 – Curva de incêndio padrão temperatura-tempo apresentada na ISO 834/94 e acolhida pela NBR 14432/01.....	44
Figura 5 – Modelo de Petterson <i>et al.</i> de curva tempo-temperatura de um incêndio com o grau de ventilação igual a $0,2 \text{ m}^{1/2}$	45
Figura 6– Demonstração esquemática do funcionamento da compartimentação vertical externa (Costa <i>et al.</i> , 2005).....	50
Figura 7 – Instantes iniciais do incêndio no edifício Joelma em São Paulo – 1974 (Revista Eletrônica Bombeiros Emergência)	52
Figura 8 – Propagação externa vertical e horizontal do incêndio no edifício Joelma – São Paulo (Revista Eletrônica Bombeiros Emergência)	52
Figura 9 – Propagação externa do incêndio na sede do INSS em Brasília – 2005 (Arquivo do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal)	53
Figura 10 – Fachada da edificação sede do INSS em Brasília após o incêndio (Arquivo do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal)	53
Figura 11 – Desenho esquemático da trajetória e do comprimento da chama ejetada pela janela sem a presença de marquises/sacadas, com e sem parede, respectivamente, na fachada acima do compartimento sinistrado, e sem direcionamento forçado da chama (Bailey,2008).....	59
Figura 12 – Desenho esquemático da trajetória e do comprimento da chama ejetada pela janela com a presença de marquises/sacadas, com e sem parede, respectivamente, na fachada acima do compartimento sinistrado, e sem o direcionamento forçado da chama (Bailey,2008).....	59
Figura 13 – Desenho esquemático da extensão exigida da parede da fachada resistente ao fogo ao encontrar-se com a parede ou o piso compartimentadores (NBE-CPI, 1996).....	60
Figura 14 – Desenho esquemático da extensão exigida de parede resistente ao fogo na fachada quando encontra-se com a parede interna compartimentadora, em ângulo ou com saliência externa (NBE-CPI, 1996)	60

Figura 15 – Desenho esquemático do muro de separação exigido pela <i>Fire Protection Handbook</i> (NFPA,1987).....	61
Figura 16 – Desenho esquemático da relação C+D da CO-21 (Archambault e Thomas, 2005).....	62
Figura 17 – Desenho esquemático dos afastamentos entre aberturas exigidos pela <i>Building Regulations 2000- Fire Safety</i> , 2006	64
Figura 18 – Desenho esquemático do muro de separação entre unidades autônomas (IT n° 07/04 – Corpo de Bombeiros de São Paulo).....	83
Figura 19 – Planta demonstrativa das exigências de compartimentação horizontal (IT n° 09/2004 – Corpo de Bombeiros de São Paulo)	84
Figura 20 – Corte demonstrativo das exigências de compartimentação vertical (IT n° 09/2004 – Corpo de Bombeiros de São Paulo)	84
Figura 21 – Gráfico demonstrativo das exigências de afastamento entre aberturas de pavimentos sucessivos.....	87
Figura 22 – Gráfico demonstrativo das exigências no comprimento do prolongamento dos entrepisos	87
Figura 23 – Esquema demonstrativo do modelo computacional de duas camadas (Forney, 2005 <i>apud</i> Braga e Landim, 2008)	90
Figura 24 – Esquema demonstrativo do modelo computacional por células (Forney, 2005 <i>apud</i> Braga e Landim, 2008).....	90
Figura 25 – Gráfico comparativo temperatura média x altura do átrio com tempo entre 280 e 330 s (Chow <i>et al</i> , 2007).....	93
Figura 26 – Gráfico comparativo temperatura média da fumaça x tempo (Chow <i>et al</i> , 2007).....	94
Figura 27 – Distribuição da concentração de fumaça realizado pelo FDS, mostrando as zonas analisadas (Ryder <i>et al</i> , 2006)	94
Figura 28 – Gráfico comparativo entre os níveis de contaminação reais e simulados pelo FDS (Ryder <i>et al</i> , 2006)	95
Figura 29 – Distribuição das temperaturas em todo o 96° andar (a), em °C, e na respectiva estrutura (b), em Kelvin, nos primeiros 1000 s após a colisão do avião (Prasad e Baum, 2005).....	96
Figura 30 – Representação do modelo de elementos finitos para uma seção da estrutura do 96° andar do WTC (a),e a distribuição das temperaturas no interior de um pilar da edificação simulado pelo FDS (b) (Prasad e Baum, 2005)	96
Figura 31 – Cenário reconstituído com o FDS antes do início do incêndio (Braga e Landim, 2008)	97

Figura 32 – Apresentação das marcas de queima (a) coincidentes com o modelo computacional desenvolvido pelo FDS (b) (Braga e Landim, 2008).....	97
Figura 33 – Desenho esquemático do comportamento das chamas conforme a geometria das aberturas, conforme proposto pelo <i>Experimental Building Station apud Rosso</i> (1975).....	99
Figura 34 – Desenho esquemático apresentado por Thomaz e Law (1972) <i>apud Drysdale</i> (1998) para dimensionamento da extensão da chama ejetada por uma abertura	100
Figura 35 – Desenho do modelo construído para ensaios em escala real por Osleszkiewics e Yung (1988).....	101
Figura 36 – Modelo em escala reduzida proposto por Suzuki <i>et al</i> (2003) <i>apud Mammoser e Battaglia</i> (2004)	102
Figura 37 – Modelo em FDS proposto por Mammoser e Battaglia (2004).....	103
Figura 38 – Simulações realizadas por Mammoser e Battaglia (2004), mostrando a dinâmica do incêndio e as temperaturas com saliências de 0 cm (a), 10 cm (b), 15 cm (c), 17,5 cm (d) e 20 cm (e). Abaixo, resultados comparativos de Suzuki <i>et al</i> (2003), com os mesmos comprimentos das saliências (f até i)	104
Figura 39 – Modelo apresentado por Chen <i>et al</i> (2006), utilizando o FDS.....	105
Figura 40 – Configuração de sacada que apresentou melhores resultados (a), e sua respectiva simulação no FDS (b) (Chen <i>et al</i> , 2006).....	106
Figura 41 – Desenho esquemático do afastamento da chama ejetada pela janela devido a presença de projeção horizontal (DeHaan, 2007).....	107
Figura 42 – Modelo em escala reduzida proposto por Himoto <i>et al</i> (2008)	108
Figura 43 – Gráficos comparativos temperatura x altura com abertura de 0,3 x 0,5 m (a) e 0,3 x 0,3 m (b) (Himoto <i>et al</i> , 2008).....	109
Figura 44 – Modelo em escala reduzida proposto por Huang <i>et al</i> (2008).....	110
Figura 45 – Demonstração da extensão das chamas projetadas para o exterior da abertura, com as temperaturas em °C e a velocidade do vento de 3 m/s (Huang <i>et al</i> , 2008).....	110
Figura 46 – Simulador de incêndio em construção.....	113
Figura 47 – Detalhamento da selagem interna dos compartimentos	113
Figura 48 – Detalhamento das graduações verticais (a) e horizontais (b)	113
Figura 49 – Colocação do gesso acartonado resistente ao fogo mostrando as diferentes configurações de aberturas	114
Figura 50 – Detalhamento do sistema de fixação por abraçadeiras.....	114

Figura 51 – Selagem das juntas com manta de fibra cerâmica (a) e massa isolante (b).....	115
Figura 52 – Integridade da chapa de gesso acartonado resistente ao fogo após a queima...	115
Figura 53 – Configurações de fachada com projeção horizontal e aberturas estreita (a) e larga (b).....	116
Figura 54 – Configurações de fachada sem projeção horizontal e aberturas estreita (a) e larga (b).....	116
Figura 55 – Arranjo do engradado de madeira no compartimento	118
Figura 56 – Posicionamento do engradado de madeira e dos termopares após a colocação da fachada	119
Figura 57 – Compartimento simulado pelo FDS 5 mostrando a localização do queimador (“vent”) no compartimento inferior	121
Figura 58 – Compartimentos simulados pelo FDS 5 mostrando a delimitação do “mesh” e as grades de resolução.....	121
Figura 59 – <i>Smokeview</i> mostrando as superfícies (<i>slices</i>) de temperatura paralela (a) e transversalmente (b) à fachada dos compartimentos.....	122
Figura 60 – <i>Smokeview</i> mostrando a superfície (<i>slice</i>) de taxa de liberação de calor paralela à fachada dos compartimentos	123
Figura 61 – Cortes esquemáticos mostrando as configurações e dimensões dos cenários desenvolvidos, de (a) até (h), com as correspondentes discriminações apresentadas na tabela 10	125
Figura 62 – Gráficos das temperaturas dos ensaios em escala reduzida para risco baixo com abertura estreita (a) e larga (b).....	128
Figura 63 – Simulação computacional de incêndio para risco baixo com abertura estreita mostrando o fluxo de entrada de ar pela parte inferior da abertura do compartimento incendiado	128
Figura 64 – Fachadas com aberturas estreitas (a) e largas (b) em ensaio para risco baixo, aos 10 minutos de queima	129
Figura 65 – Gráfico das temperaturas internas do compartimento com abertura estreita, com e sem projeção horizontal para risco médio	129
Figura 66 – Gráfico dos termopares internos ao compartimento incendiado com abertura larga, com e sem projeção para risco médio.....	130
Figura 67 – Ensaios sem (a) e com (b) projeção horizontal mostrando o “rebaixamento” das chamas ejetadas pela janela com configuração larga.....	131
Figura 68 – Ensaios mostrando o comportamento das chamas através das aberturas estreita (a) e larga (b).....	131

Figura 69 – Gráfico das temperaturas na parte superior das aberturas (termopar 7).....	132
Figura 70 – Gráfico das temperaturas no interior do compartimento acima consecutivo ao incendiado (termopar 4).....	132
Figura 71 – Gráficos das temperaturas ao longo da fachada com aberturas estreitas, acima do compartimento incendiado, para risco baixo, sem (a) e com (b) projeção horizontal (termopares 8, 9 e 10).....	133
Figura 72 – Gráficos das temperaturas ao longo da fachada com aberturas largas, acima do compartimento incendiado, para risco baixo, sem (a) e com (b) projeção horizontal (termopares 8, 9 e 10).....	135
Figura 73 – Gráfico das temperaturas na parte superior da abertura do compartimento incendiado (termopar 7).....	135
Figura 74 – Gráfico das temperaturas no interior do compartimento acima consecutivo ao incendiado (termopar 4), marcando aproximadamente a mudança de fase do incêndio (<i>flashover</i>).....	136
Figura 75 – Gráfico das temperaturas ao longo das fachadas acima do compartimento incendiado, sem projeções horizontais, com aberturas largas (a) e com aberturas estreitas (b) - Termopares 8, 9 e 10).....	137
Figura 76 – Retorno da chama rente à parede externa da fachada (a), ao centro da janela superior, com as aberturas estreitas, e sua respectiva termografia (b)	137
Figura 77 – Gráficos das temperaturas ao longo das fachadas acima do compartimento incendiado, com projeções horizontais, com aberturas largas (a) e com aberturas estreitas (b) - Termopares 8, 9 e 10).....	138
Figura 78 – Interior da sede do INSS, mostrando as divisórias existentes (a), e a configuração da janela de um andar atingido pelo incêndio (b) (Arquivo do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal)	139
Figura 79 – Imagens de termografia, frontal (a) e lateral (b), geradas após o <i>flashover</i> , para a fachada com aberturas estreitas e com projeções horizontais.....	140
Figura 80 – Imagens de termografia, frontal (a) e lateral (b), geradas após o <i>flashover</i> , para a fachada com aberturas largas e com projeções horizontais	141
Figura 81 – Ensaios para risco médio com abertura estreita (a) e larga (b), com projeção horizontal, evidenciando os comprimentos máximos das chamas atingidos após o <i>flashover</i>	141
Figura 82 – Gráfico das médias das temperaturas alcançadas na parte inferior e superior das projeções horizontais, com aberturas estreitas e largas, para risco médio, através da simulação com o FDS 5.....	142
Figura 83 – Gráficos comparativos entre ensaios em escala reduzida e simulações do FDS 5, termopar 8, risco baixo, com aberturas estreitas (a) e largas (b).....	144

Figura 84 – Gráficos comparativos entre ensaios em escala reduzida e simulações do FDS 5, termopar 9, risco baixo, com aberturas estreitas (a) e largas (b).....	145
Figura 85 – Gráfico comparativo entre ensaios em escala reduzida e simulações do FDS 5, termopar 10, risco baixo, com aberturas estreitas (a) e largas (b).....	146
Figura 86 – Visualização da simulação no FDS 5, frontal (a) e lateral (b), da fachada sem projeção horizontal, afastamento de 40 cm entre janelas, e com aberturas estreitas	146
Figura 87 – Visualização da simulação no FDS 5, frontal (a) e lateral (b), da fachada sem projeção horizontal e com aberturas largas.....	147
Figura 88 – Visualização da simulação no FDS 5, frontal (a) e lateral (b), da fachada com projeção horizontal de 30 cm e com aberturas estreitas	147
Figura 89 – Visualização da simulação no FDS 5, frontal (a) e lateral (b), da fachada com projeção horizontal de 30 cm e com aberturas largas.....	148
Figura 90 – Gráficos comparativos entre ensaios em escala reduzida e simulações do FDS 5, termopar 8, com aberturas estreitas (a) e largas (b)	149
Figura 91 – Gráficos comparativos entre ensaios em escala reduzida e simulações do FDS 5, termopar 9, com aberturas estreitas (a) e largas (b)	150
Figura 92 – Gráficos comparativos entre ensaios em escala reduzida e simulações do FDS 5, termopar 10, com aberturas estreitas (a) e largas (b)	151
Figura 93 – Exemplos de visualização da trajetória das chamas através das aberturas estreitas (a) e largas (b) com a utilização do FDS 5	152
Figura 94 – Exemplos de verificação das temperaturas das chamas ao longo de sua trajetória através das aberturas estreitas (a) e largas (b), utilizando “slices” de temperatura do FDS 5	152
Figura 95 – Exemplos de verificação das taxas de liberação de calor por unidade de volume, em função do tempo, das fachadas com aberturas estreitas (a) e largas (b), sem projeção horizontal, utilizando o FDS 5.	153
Figura 96 – Exemplos de verificação das taxas de liberação de calor por unidade de volume, em função do tempo, das fachadas com aberturas estreitas (a) e largas (b), com projeção horizontal, utilizando o FDS 5.....	153
Figura 97 – <i>Smokeview</i> apresentando diferença no comportamento das chamas para afastamentos de 3 metros, sendo as configurações com pé-direito alto (a), e com pé-direito convencional (b).....	156
Figura 98 – Gráfico mostrando as temperaturas do termopar 4 para as diferentes configurações de compartimentação externa (a) e as respectivas linhas de tendência (b)	157

Figura 99 – Gráficos mostrando as temperaturas do termopar 8 para as diferentes configurações de compartimentação externa (a) e as respectivas linhas de tendência (b)	158
Figura 100– Gráficos mostrando as temperaturas do termopar 9 para as diferentes configurações de compartimentação externa (a) e as respectivas linhas de tendência (b)	159
Figura 101– Gráfico mostrando as temperaturas do termopar 10 para as diferentes configurações de compartimentação externa (a) e as respectivas linhas de tendência (b)	160
Figura 102– Gráfico mostrando as temperaturas do termopar 4 para as diferentes configurações de compartimentação externa.....	162
Figura 103– Gráfico mostrando as temperaturas do termopar 8 para as diferentes configurações de compartimentação externa.....	162
Figura 104– Gráfico mostrando as temperaturas do termopar 9 para as diferentes configurações de compartimentação externa.....	163
Figura 105– Gráfico mostrando as temperaturas do termopar 10 para as diferentes configurações de compartimentação externa.....	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Classificação das edificações quanto à carga de incêndio.....	32
Tabela 2:	Classificação dos riscos segundo o poder calorífico e a ocupação.....	33
Tabela 3:	Classificação das edificações quanto ao tipo de ação.....	36
Tabela 4:	Classificação dos sistemas de segurança contra incêndios quanto à função	38
Tabela 5:	Elementos construtivos que compõem as compartimentações horizontal e vertical	48
Tabela 6:	Distâncias a serem cumpridas entre edificações para isolamento de riscos	76
Tabela 7:	TRRFs exigidos nas paredes corta-fogo, conforme o risco, para edificações com mais de um pavimento	82
Tabela 8:	Efeitos da radiação térmica nos sólidos (madeira, plásticos) e pele humana	107
Tabela 9:	Especificação dos ensaios realizados	119
Tabela 10:	Discriminações das simulações computacionais de incêndio realizadas.....	126

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A descoberta do fogo foi um dos principais marcos históricos para a evolução da sociedade aos moldes de como se apresenta hoje, mas assim como o seu uso controlado trouxe benefícios indelévels, o seu descontrole e o despreparo dos seres humanos em lidar com tamanho poderio energético causaram destruições significativas. A este descontrole na utilização do fogo, dependente de ações especializadas para sua extinção, deu-se a denominação de incêndio, tendo hoje estudos específicos devido à sua relevância.

Contudo, a humanidade somente veio a se preocupar significativamente a partir da segunda metade do século XX, época esta de um grande crescimento tecnológico, com a construção de prédios cada vez mais altos e complexos, quando o mínimo incêndio causaria grandes estragos.

Em 1974, as perdas por incêndios na Alemanha, Reino Unido e França perfizeram um total de 370 milhões de dólares. Somente na Itália e Espanha, foram consumidos pelo fogo, o equivalente à 27 e 14 milhões de dólares respectivamente (Cánovas, 1988).

De acordo com a *US Fire Administration*, de 1996 até 1998, houveram aproximadamente 15.500 incêndios em prédios altos nos Estados Unidos. Destes, mais de dois terços iniciaram abaixo do quarto pavimento, aumentando os riscos de propagação vertical. Apesar das perdas materiais nos prédios altos residenciais geralmente custarem menos do que os comerciais, há o custo inestimável das vidas, que são muito maiores em número nas edificações residenciais (Mammoser e Battaglia, 2004).

Para Berto (1984) *apud* Assis (2001), a segurança ao fogo desempenha um papel de crescente importância, uma vez que se constitui em problema que se agrava rapidamente pelas modificações arquitetônicas atuais e pelo uso acentuado de materiais sintéticos e equipamentos elétricos.

Surgiram então, diversos sistemas de proteção e combate aos incêndios, visando primordialmente a retirada segura de pessoas que se encontrassem no interior de edificações sinistradas, bem como minimizar os danos ao patrimônio. Assim, muitos países criaram leis e normas que estabelecessem padrões de comportamento e de utilização correta de tais sistemas; e os que ainda não tinham a obrigatoriedade, mas possuíam a consciência preventiva, adotavam os padrões exteriores já escritos. No Brasil, a preocupação é relativamente recente, evidenciando-se com mais intensidade nos anos 70.

Sabendo das necessidades de segurança, e com o propósito de ordenar os procedimentos, normas reguladoras foram sendo editadas em ritmo acelerado, e com amparo legal da União, os Estados foram autorizados a legislar sobre o assunto, que por sua vez, em alguns casos, concederam a mesma competência aos municípios. Então, leis de prevenção de incêndio foram criadas de acordo com as necessidades regionais, sem ferir, em tese, os ditos estaduais e federais.

Essas leis, códigos e normas, determinam a implantação de sistemas de segurança contra incêndio e pânico, podendo serem integrantes da estrutura e do arranjo arquitetônico das edificações para limitarem a propagação do fogo, garantirem a estabilidade estrutural e a retirada incólume das pessoas; ou serem dimensionados e implantados para alertarem os ocupantes e darem o primeiro combate ao sinistro.

Contudo, segundo Ono (2008), nem sempre existirá uma boa solução de projeto contra incêndio e pânico se apenas cumprirem os ditos normativos, sem o projetista dominar os pressupostos que fundamentaram os requisitos exigidos; e sem este conhecimento, fica difícil apresentarem soluções alternativas ou de maior eficiência.

Tanto a elaboração como a revisão de normas técnicas requer muitas vezes, muito tempo de dedicação, bem como envolve representantes da sociedade. Assim, as necessidades da comunidade técnica não são rapidamente atendidas, gerando conflitos que podem ter como consequência perdas econômicas (Costa, 2005).

Atualmente, existem inúmeras leis de prevenção contra incêndio com divergências no trato dos mesmos assuntos. Ante este quadro, a administração pública, onde estão inseridos os Corpos de Bombeiros, bem como as instituições de ensino e pesquisa, associações normativas, dentre outros, buscam dentro de suas jurisdições, padronizarem as técnicas de

construção e as ações de instalação de equipamentos visando a segurança contra incêndios nas edificações.

Dentre as soluções construtivas para minimizarem os danos e proporcionarem o tempo necessário para o escape das pessoas com segurança, existe a denominada compartimentação, técnica esta tratada com propriedade em alguns Estados da federação, de forma empírica em outros, e por vezes nem citada ou recomendada.

A compartimentação das edificações, apesar de ser exigida em muitos casos, ainda não possui norma brasileira regulamentadora (NBR), e sendo mais específico quanto à compartimentação vertical externa, não há referências científicas constantes nos Códigos de Segurança Contra Incêndio e Pânico (COSCIPI) nacionais sobre a eficiência deste sistema.

A falta de uniformidade dos códigos sugere que a compartimentação externa não está sendo adequadamente considerada com relação à redução da propagação do fogo (Mammoser e Battaglia, 2004).

Em suma, há relevância em estabelecer técnicas inovadoras, adaptadas à realidade moderna e principalmente comprovadas cientificamente, padronizando-as em todo o território nacional, evitando consequentemente, prejuízos à credibilidade do poder público, da comunidade científica, e principalmente, buscando a integridade de patrimônios e de pessoas, como também, diminuindo expressivamente o risco à vida dos responsáveis pelos serviços de salvamento e de combate a incêndios.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo geral analisar a eficiência do sistema de compartimentação vertical externa através das janelas, por afastamento entre aberturas e prolongamento externo dos pisos, sob a ótica da dinâmica da propagação do incêndio, segundo as exigências normativas brasileiras para edificações multi-familiares e comerciais.

E como objetivos específicos elencamos:

- a) estabelecer um panorama geral brasileiro das normatizações de prevenção e proteção contra incêndios relativo ao assunto;

- b) identificar as divergências existentes nas normas e leis de prevenção contra incêndios que tratam sobre a implantação do sistema de compartimentação vertical externa;
- c) discutir o embasamento científico referenciado nas normas técnicas que tratam sobre compartimentação;
- d) verificar a possibilidade de estabelecer uma correlação entre a natureza do incêndio e as características da compartimentação vertical externa com o grau de risco das edificações;
- e) propor recomendações para a consolidação de uma norma unificada, para aplicação em todo o território nacional, em tópicos que possam ser independentes das diferenças regionais.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em ampla pesquisa à literatura técnica, foi comprovada a inexistência de norma brasileira específica sobre segurança estrutural das edificações através da compartimentação vertical externa, havendo inúmeras divergências entre os órgãos estaduais normativos e fiscalizadores, tanto que Marcatti *et al* (2008) afirmam existir a necessidade de elaboração de uma norma brasileira sobre compartimentação.

Também, notou-se que as referências normativas de várias instruções técnicas dos Corpos de Bombeiros consolidam-se sobre as exigências de resistência ao fogo dos elementos construtivos, mas não caracterizam cientificamente a eficiência dos detalhamentos exigidos diante da dinâmica de um incêndio, ou seja, no que diz respeito à compartimentação vertical externa, fica evidente a exigência de boa resistência do material constituinte, mas não é sabido se esta cumprirá o seu objetivo funcional de limitar a propagação das chamas aos andares acima consecutivos.

Fica caracterizado que para a efetiva compartimentação, os elementos da construção devem apresentar adequadamente a estanqueidade, o isolamento térmico e a estabilidade, isto verificado em ensaios já normatizados. Contudo, também é necessário certificar-se anteriormente da eficácia do sistema construtivo proposto, pois as medidas de segurança contra incêndio introduzem um custo adicional à edificação (Ono, 2008).

Baseado no conhecimento da propagação do fogo e da radiação, impedir ou prevenir o alastramento das chamas é de grande importância para a segurança de todos. Prevenir ou reduzir a propagação pelo exterior dos prédios, permite aos bombeiros mais tempo para evacuarem os ocupantes dos andares mais altos e controlarem a ignição em edificações vizinhas. Pesquisas numéricas e experimentais têm indicado que a propagação do fogo e de sua radiação através das janelas causam ignição dos materiais nas economias próximas (Mammoser e Battaglia, 2004).

MALHOTRA (1993) *apud* Costa (2005) reconhece que os critérios de compartimentação não são muito claros, sendo provável que estes tenham origens históricas, com base empírica e nem sempre compatível com a evolução dos métodos de combate ao incêndio.

Ainda, Costa (2005) afirma que o conceito de compartimentação é importante para a determinação das exigências de resistência a fogo das estruturas e aplicação dos métodos de verificação existentes. Entretanto, diversas dúvidas podem ser levantadas, as quais indicam a necessidade do desenvolvimento maior de pesquisa na área e a consequente modernização de nossa legislação.

1.4 METODOLOGIA

Para este estudo, primeiramente foi realizada uma pesquisa exploratória documental de leis e Decretos Estaduais, códigos, normas e instruções técnicas dos Corpos de Bombeiros, obtendo o corpo normativo vigente nos 26 Estados brasileiros e no Distrito Federal, conforme apresentado no capítulo 3. Também, buscou-se normas internacionais e normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), pertinentes ao assunto em questão. Em seguida, foi feita uma pesquisa bibliográfica de estudos realizados sobre a compartimentação de áreas.

Numa segunda etapa, efetuou-se uma comparação entre as normas coletadas, identificando os pontos em comum e as divergências conceituais relevantes à pesquisa, bem como sobre o trato dos sistemas de compartimentação vertical externa através do afastamento entre aberturas e do prolongamento dos pisos.

Por fim, dentre todas as soluções apresentadas, foi verificada, através de simulações computacionais da dinâmica de fluídos (CFD), utilizando o software *Fire Dynamics Simulator*, projetado e lançado pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST), e por ensaio de campo em escala reduzida, a eficiência dos sistemas de compartimentação vertical externa conforme as exigências normativas brasileiras, bem como a influência das variáveis área de ventilação, através da geometria das aberturas, e grau de risco da edificação na dinâmica da propagação vertical do fogo.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Essa dissertação está estruturada em 8 capítulos, onde cada um está descrito a seguir.

No primeiro capítulo, encontra-se a justificativa da necessidade de pesquisas referentes à compartimentação vertical externa, além de apresentar os objetivos geral e específicos, sua metodologia de desenvolvimento e organização do trabalho.

O segundo capítulo faz uma abordagem dos conceitos necessários ao entendimento da pesquisa, quais sejam a classificação dos graus de risco e dos sistemas de segurança contra incêndio e pânico (SCIP), carga e fases de incêndio, bem como compartimentação de áreas.

No terceiro capítulo é realizado um panorama abrangente do histórico da normalização Brasileira, das competências dos Corpos de Bombeiros em normalizar e fiscalizar a instalação dos sistemas de SCIP. Também, são apresentadas as exigências normativas relativas à compartimentação vertical externa de nove países e de todos os Estados da federação, elencando os instrumentos jurídicos que ditam a obrigatoriedade.

O capítulo quatro apresenta os princípios de funcionamento do software simulador computacional de dinâmica do incêndio (*Fire Dynamics Simulator – FDS*), pertencente à classe dos simuladores computacionais da dinâmica dos fluídos (*Computational Fluid Dynamics – CFD*), discriminando estudos gerais realizados com sua utilização.

No capítulo cinco são descritas pesquisas realizadas sobre a propagação do fogo através das janelas de edificações, objetivando a coleta de parâmetros e procedimentos para a realização dos experimentos em escala reduzida, tanto de campo quanto computacionais.

O capítulo seis apresenta o programa experimental definido para este trabalho, apresentando e justificando a escolha das variáveis de resposta, dos materiais utilizados, dos ensaios executados e procedimentos adotados.

No sétimo capítulo são apresentados os resultados obtidos na realização do programa experimental, juntamente com a análise e discussão dos mesmos, correlacionando com outros resultados encontrados na literatura.

O oitavo capítulo traz as conclusões finais do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 CONCEITOS BÁSICOS PARA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO

Existem diversos termos técnicos que formam o tema segurança contra incêndio e pânico. Este capítulo trata dos conceitos básicos necessários ao entendimento da pesquisa.

2.1 CONCEITO E DIMENSIONAMENTO DO GRAU DE RISCO

Grau de risco é a probabilidade de ocorrência de um incêndio em uma edificação e o nível de dificuldade para debelá-lo com o mínimo de prejuízo ao patrimônio e à vida. Esta especificação é importante para a definição dos sistemas de segurança contra incêndio e pânico a serem instalados.

Para Mitidieri (2008), o risco de ocorrência de um incêndio é determinado por fatores inerentes a cada edifício. E a segurança desejável para um edifício está diretamente relacionada às categorias de risco e aos objetivos da segurança contra incêndio, bem como aos requisitos funcionais atendidos pelo edifício em estudo.

O grau é dimensionado nacionalmente de várias formas distintas. A primeira e mais antiga surgiu em 1º de setembro de 1952 quando o Departamento Nacional de Seguros Privados e Capitalização aprovou a Tarifa de Seguro Incêndio do Brasil (TSIB), seguido do surgimento do Instituto de Resseguros do Brasil (IRB) em 1954, que criou o Manual de Resseguros do Brasil e encampou a TSIB. Os riscos são graduados de acordo com as classes de ocupação que foram criadas, através da Circular nº 006/92 da Superintendência de Seguros Privados (SUSEP) e até hoje são utilizadas. As classes de ocupação variam de 1 a 13, conforme a TSIB, e os riscos de incêndio são classificados da seguinte forma:

- a) risco Classe A – Classes 1 e 2, excluídos os depósitos;
- b) risco Classe B – Classes 3 a 6, e os depósitos de classes 1 ou 2;
- c) risco Classe C – Classes 7 a 13.

Outra classificação também adotada por diversas leis e normas de segurança, é pela determinação da carga de incêndio, dimensionada pelos procedimentos constantes na NBR 14432/2001. O tempo de resistência ao fogo especificado em tais normas depende da severidade esperada para o incêndio, que, por sua vez, é função da carga de incêndio (Assis, 2001).

Ainda, para Assis (2001), 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 energia a ser liberada pelos materiais móveis e fixos constituintes de uma edificação caso entrem em combustão, determinantes para a severidade do sinistro.

Também, a carga incêndio é um grande definidor do grau de risco, já que a quantidade de materiais combustíveis está diretamente relacionada com a intensidade do fogo, sendo portanto, um importante parâmetro para a instalação compatível dos sistemas de proteção contra incêndio e pânico (Ono, 2008).

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 carga de incêndio é comumente expressa em termos da carga de incêndio específica, relacionada com o poder calorífico de cada material presente, ou seja, peso de combustível equivalente dividido pela área do piso do compartimento em metros quadrados, conforme a fórmula (1):

$$q_{fi} = \frac{\sum M_i h_i}{A_f} \quad (1)$$

Onde:

q_{fi} = valor da carga de incêndio específica, em megajoule por metro quadrado área de piso.

M_i = massa total de cada componente i do material combustível, em quilograma. Esse valor não poderá ser excedido durante a vida útil da edificação exceto quando houver alteração de ocupação, ocasião em que M_i deverá ser reavaliado.

h_i = potencial calorífico específico de cada componente i do material combustível, em megajoule por quilograma.

A_f = área do piso do compartimento, em metro quadrado.

A tabela 1 mostra a classificação dos riscos segundo o Decreto Estadual nº 46.076/2001 de São Paulo e o Decreto Estadual nº 357/2007 do Pará, determinadas pela carga de incêndio das edificações.

Tabela 1: Classificação das edificações quanto à carga de incêndio

Risco	Carga de Incêndio MJ/m ²
Baixo	até 300MJ/m ²
Médio	Entre 300 e 1.200MJ/m ²
Alto	Acima de 1.200MJ/m ²

Fonte: Decreto Estadual nº 46.076/01 do Estado de São Paulo

A *National Fire Protection Association* - NFPA (EUA, 1987) destaca estudos britânicos sobre a classificação quanto à carga de incêndio denominando baixas a partir de 114 MJ/m², médias até 456 MJ/m² e altas a partir desta, modificando conforme ocupação da edificação.

Já Gomes (1998) *apud* Assis (2001), classifica os riscos como leve até 270 MJ/m², como médio entre 270 e 540 MJ/m², e como pesado acima de 540 MJ/m².

Ainda, é necessário salientar que o Corpo de Bombeiros do Distrito Federal, através da Norma Técnica nº 10/05, classifica as edificações apenas em alto ou baixo risco, determinados principalmente pelas ocupações a que se destinam.

Aprovado pelo comando do Corpo de Bombeiros do Paraná, em 2001, o Código de Prevenção de Incêndios do Estado apresenta uma peculiaridade exclusiva, a classificação dos riscos é realizada com a relação entre o poder calorífico (carga de incêndio) e a ocupação a que se destina, determinando se o risco é leve (RL), moderado (RM) ou elevado (RE), conforme apresentado na tabela 2, que neste trabalho não está completa, serve apenas como exemplo da

forma em que está constante na norma. É o único Estado que utiliza este método até o presente momento.

Tabela 2: Classificação dos riscos segundo o poder calorífico e a ocupação

(1) Exposição, comércio, manuseio e fabricação. (2) Armazenagem e depósitos		
OCUPAÇÃO	Classe de Risco (1)	Classe de Risco (2)
Abrasivos, pedras de amolar	RL	RL
Agência de correios	RL	RM
Albergue da juventude	RL	
Algodão	RL	RE
Alojamento Estudantil	RL	
Antigüidades	RL	RM
Aparelhos eletrodomésticos	RL	RM
Aparelhos Elétricos - Reparos	RL	RM
Armas	RL	RM
Artigo de feltro	RL	RM
Artigos de amianto	RL	RL
Artigos de argila e cerâmica	RL	RM
Artigos de argila e cerâmica(tijolos, forno de secagem com grade de madeira)	RM	RM
Artigos de bijuteria	RL	RM
Artigos de borracha	RL	RM
Artigos de cantaria	RL	RL
Artigos de cera	RM	RE
Artigos de cera, expedição	RL	RM
Artigos de cerâmica	RL	RM

Fonte: Código de Prevenção de Incêndios do Paraná (2001).

Uma maneira de reduzir o crescimento do fogo é limitar a presença de materiais combustíveis disponíveis (Ono, 2008). A classificação pela ocupação fornece um parâmetro empírico do risco apresentado, pois os materiais constantes no interior da edificação é que definirão a velocidade e a intensidade do incêndio.

Como exemplo, Assis (2001) realizou o levantamento da carga de incêndio em edifícios de escritórios, concluindo que estas variavam entre 900 e 1200 MJ/m², o que representaria a classificação de risco médio conforme as normas que utilizam este parâmetro de classificação. Ocorre que, classificando os escritórios pela ocupação, exemplificando conforme a Lei Complementar nº 420/98 do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, e como a NBR

12693/93 que trata da instalação dos sistemas de proteção por extintores de incêndio, estes são considerados como edificações de risco baixo, tornando mais brandas as exigências.

Logicamente, torna-se mais exato o dimensionamento dos sistemas de proteção se soubermos a carga de incêndio da edificação, ou ainda, segundo Claret (2000) *apud* Assis (2001), haverá uma redução no custo de implantação dos sistemas de proteção passiva estrutural já que poderão ser utilizados modelos de incêndio natural.

Nota-se portanto, a grande discrepância na delimitação do que seria considerado um “grande” ou um “pequeno” incêndio, pois os fatores externos que conduzem à gravidade do incêndio são variados e complexos, e somente a definição pela quantidade de materiais presentes na edificação não conduz com exatidão à realidade. Todavia, é um parâmetro inicial relevante a se considerar.

Os coeficientes de segurança no dimensionamento dos sistemas de proteção só poderão ser otimizados quando conhecermos a dinâmica do incêndio com a maior verossimilhança possível. Daí, há a importância do desenvolvimento de maiores estudos na área de engenharia de segurança contra incêndio.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO

Existe uma gama variada de conceitos e classificações dos sistemas de segurança contra incêndios, devendo futuramente haver uma preocupação com a padronização da referida linguagem técnica. Nesta subseção, serão apresentadas as mais utilizadas, sendo indicadas algumas legislações, bem como pesquisadores.

Primeiramente, há a necessidade de diferenciarmos os conceitos das ações de prevenção e as 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.

Já para a Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros de São Paulo n° 03/04, a qual estabelece as terminologias a serem utilizadas, existe apenas o conceito de prevenção, o qual engloba as demais medidas.

Dentre os códigos de segurança contra incêndio e pânico existentes no Brasil, há duas principais classificações dos sistemas de proteção.

A proteção ativa contra incêndio 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 (botões); 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. Esses meios de proteção atendem às necessidades dos usuários em situação normal de funcionamento do edifício, porém, em situação de incêndio têm um comportamento especial que retarda o crescimento do incêndio, impede uma grande emissão de fumaça ou permite uma saída segura para os ocupantes do prédio, entre tantas outras finalidades. A compartimentação está inserida nesta classificação.

A tabela 3 mostra a classificação segundo os códigos de segurança contra incêndio e pânico do Distrito Federal e do Mato Grosso, separados em dois grandes grupos: os sistemas de proteção passivos, responsáveis pela prevenção, controle e detecção; e os sistemas de proteção ativos, aos quais incumbe o combate aos sinistros.

Tabela 3: Classificação das edificações quanto ao tipo de ação

SISTEMAS PASSIVOS	<p>1) Meios de prevenção contra incêndio e pânico:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Correto dimensionamento e isolamento das instalações elétricas; - Sistema de proteção contra descargas atmosféricas; - Sinalização de segurança; - Uso adequado de fontes de ignição; - Sistema de iluminação de emergência; - Uso adequado de produtos perigosos. <p>2) Meios de controle da propagação do incêndio:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Controle da quantidade de materiais combustíveis incorporados aos elementos construtivos; - Controle das características de reação ao fogo dos materiais incorporados aos elementos construtivos; - Compartimentação horizontal e vertical; - Resistência ao fogo dos elementos decorativos e de acabamentos; - Isolamentos, afastamentos e aceiros; - Limitação do uso de materiais que emitam produtos nocivos sob a ação do fogo; - Controle da fumaça e dos produtos da combustão. <p>3) Meios de detecção e alarme:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistema de alarme; - Sistema de detecção de incêndio; - Sistema de comunicação de emergência; - Sistema de vigilância; <p>4) Meios de escape:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Provisão de vias de escape; - Saídas de emergência; - Aparelhos especiais para escape; - Elevadores de emergência. <p>5) Meios de acesso e facilidade ao socorro:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vias de acesso; - Acesso à edificação; - Dispositivo para fixação de cabos para salvamento; - Hidrantes urbanos e mananciais; - Provisão de meios de acesso dos equipamentos de combate às proximidades do edifício sinistrado. <p>6) Meios de proteção contra o colapso estrutural:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Correto dimensionamento das estruturas; - Resistência ao fogo dos elementos estruturais; - Revestimento de estruturas metálicas.
--------------------------	--

Tabela 3: Classificação das edificações quanto ao tipo de ação

SISTEMAS PASSIVOS	7) Meios de administração da proteção contra incêndio e pânico: - Supervisor de segurança contra incêndio e pânico; - Brigada de incêndio.
SISTEMAS ATIVOS	1) Meios de extinção do incêndio: - Sistema de proteção por extintores portáteis; - Sistema de proteção por hidrantes; - Sistema de chuveiros automáticos (sprinklers); - Sistemas fixos de gás carbônico, de pó químico seco, de água nebulizada e de gases especiais; - Abafadores; - Bombas costais.

Fonte: Decreto nº 21.361/2000 do Distrito Federal e Lei Estadual nº 8.399/2005 do Mato Grosso

Os códigos de segurança contra incêndio e pânico dos Estados do Mato Grosso do Sul, Acre e Rondônia, classificam os sistemas quanto à função a ser exercida na ocorrência do sinistro, conforme tabela 4.

Tabela 4: Classificação dos sistemas de segurança contra incêndios quanto à função.

PROTEÇÃO ESTRUTURAL	Características de construção que retardam a propagação do fogo e a evacuação dos ocupantes de uma edificação: - Paredes, portas corta fogo e platibandas (abas) de segurança; - Pisos, tetos e paredes incombustíveis; - Vidros resistentes ao fogo; - Afastamento entre edificações; - Compartimentação de áreas; - Isolamento vertical; - Centrais de GLP e/ou gás natural; - Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA).
----------------------------	--

Tabela 4: Classificação dos sistemas de segurança contra incêndios quanto à função.

MEIOS DE FUGA	<p>Características dos meios que estabeleçam rotas de fuga em segurança. No que couber, adota-se as normas da ABNT:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rotas de fuga e saídas de emergência; - Escadas; - Escada protegida; - Escada enclausurada; - Escada a prova de fumaça; - Iluminação e sinalização de emergência; - Elevador de emergência; - Grampo de segurança para fixação de cabos para salvamento; - Exaustão forçada de gases e fumaça.
MEIOS DE ALERTA	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de detecção e alarme automático de incêndio; - Sistemas de alarme automático e/ou sob comando (manual).
MEIOS DE COMBATE A INCÊNDIOS	<ul style="list-style-type: none"> - Extintores manuais e sobre rodas (carretas); -Sistemas hidráulicos sob comando (hidrantes), mangueiras e mangotinhos; - Chuveiros automáticos (sprinklers); - Espargidores; - Nebulizadores e vapor; -Sistemas fixos de gás carbônico, pó químico e espuma; - Canhões monitores;

Fonte: Decreto Estadual nº 8.987/2000 de Rondônia, Decreto-Lei Estadual nº 5.672/1990 do Mato Grosso do Sul e Especificações Técnicas de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Corpo de Bombeiros Militar do Acre.

Outros Estados não fazem classificação dos sistemas de segurança contra incêndio e pânico, apenas citam a existência deles e especificam os respectivos dimensionamentos durante o desenvolvimento das normas.

2.3 FASES DO INCÊNDIO

Existem quatro fases distintas no transcorrer de um incêndio real. Se o fogo não for extinto por meio dos sistemas ativos ou pelo bombeiro, este apresentará sempre as fases a seguir descritas, relacionadas com o tempo de combustão e as temperaturas atingidas pelos gases do ambiente sinistrado.

2.3.1 Ignição

É o princípio do incêndio, onde a ação rápida de brigadistas de incêndio ou mesmo dos ocupantes da edificação, utilizando os sistemas ativos de proteção, podem debelar o fogo.

Esta fase inicial apresenta baixas temperaturas, de fácil extinção, sem riscos à vida humana ou à estrutura de uma edificação (Silva, 2004).

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).

Apenas objetos a aproximadamente 0,5 metros da fonte de ignição são aquecidos, causando o desprendimento de gases inflamáveis (pirólise) e posteriormente levando a temperatura de ignição (De Haan, 2007).

2.3.2 Fase de aquecimento ou pré-*flashover*

Nesta fase, o fornecimento de calor aumenta, sendo que a radiação e a convecção passam a aquecer os materiais combustíveis mais distantes, ocorrendo a pirólise gradativa, levando-os às suas temperaturas de ignição, incendiando-se, e assim sucessivamente. Então, o incêndio passa a ser moderado, com sua taxa de calor liberado e velocidade de propagação dependendo dos materiais combustíveis e do seu arranjo no compartimento.

Para melhor entendimento, 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 parte superior do compartimento fica com a temperatura alta, baixo conteúdo de oxigênio e resíduos, fumaça e produtos em suspensão advindos da queima incompleta dos materiais, inclusive gases tóxicos e inflamáveis da pirólise. Muito diferente desta parte, próximo ao chão há mais ar disponível e a temperatura está mais baixa. No contato da chama com o ar disponível na parte mais baixa e o material inflamável aquecido na parte superior, pode ser ocasionado 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 uma taxa de liberação de calor de 20 KW/m² ao nível do chão (próximo 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. Este fenômeno é chamado *flashover*, o qual causa um aumento abrupto de temperatura no compartimento.

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

Marcatti *et al* (2008) afirmam que a severidade do incêndio está relacionada à intensidade deste completamente desenvolvido, quando todos os materiais combustíveis do compartimento estão queimando, ou seja, na ignição súbita generalizada (*flashover*). Segundo eles, este fenômeno ocorre quando os gases aquecidos e os resíduos em suspensão, advindos da queima e que compõem a fumaça, atingem aproximadamente 600° C, ignem rapidamente, havendo então a chama.

Diversos experimentos foram realizados para entender a dinâmica deste fenômeno. Quintiere (1998) incendiou de forma controlada e monitorada uma sala de estar com uma mesa de centro e duas poltronas, constatando aos 25,5 minutos após a ignição uma temperatura aproximada de 538° C no momento do *flashover*, bem como, Kagawoe s.d. *apud* Canovas (1988) afirmou que a temperatura máxima de um incêndio é sempre atingida antes dos 30 minutos e depende da área de ventilação.

Para Martin e Peris (1982) *apud* Mitidieri (2008), havendo oxigênio suficiente, a ignição súbita ocorre em no máximo 20 minutos; e ainda para Claret (2000) *apud* Souza (2007), a expectativa de tempo para a inflamação generalizada é de 10 a 20 minutos.

A Fire Research Station, s.d. *apud* DeHaan (2007), também fez um ensaio em escala real incendiando em ambiente apropriado uma 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 1, liberando então chamas para o exterior do compartimento. Salienta ainda, que com aproximadamente 2 MW, as chamas na camada superior de fumaça não se mantêm, começando a ficarem contínuas a partir de 2,5 MW.

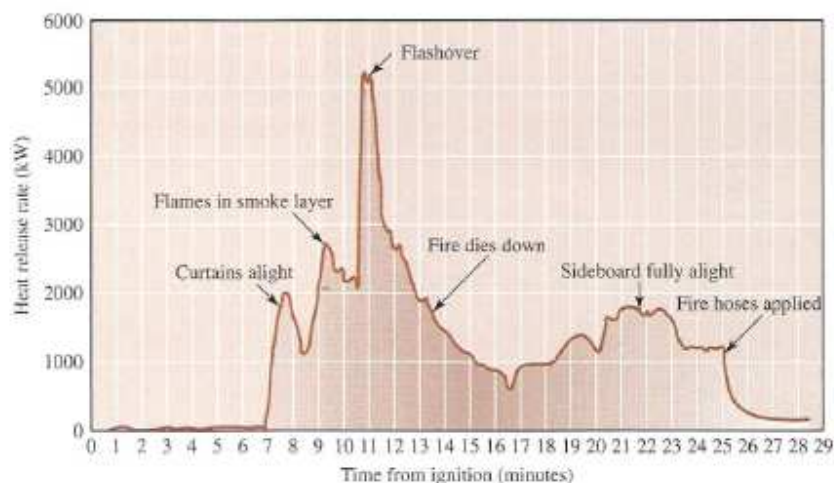


Figura 1: Curva de liberação de calor de uma sala de estar incendiada (*Fire Research Station, s.d. apud DeHaan, 2007*).

Também, 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 2.

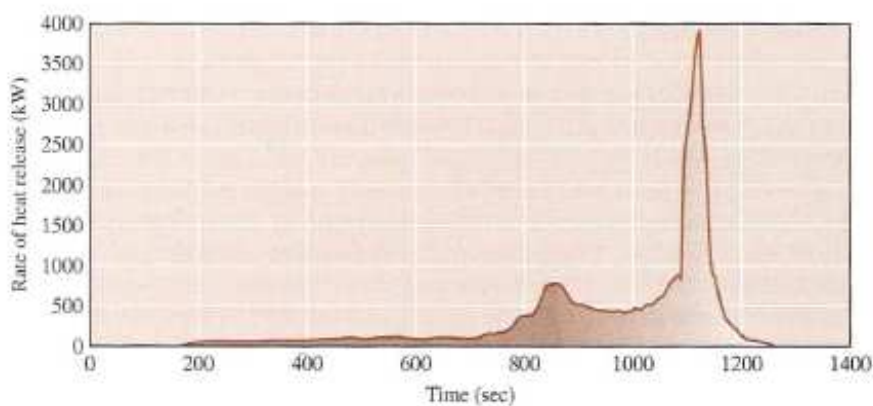


Figura 2: Curva de liberação de calor de um dormitório (*California Bureau of Home Furnishings and Thermal insulation s.d. apud DeHaan, 2007*).

Portanto, estas pesquisas mostram que um incêndio atinge seu ponto de ignição súbita generalizada comumente entre 10 e 30 minutos depois do seu início, dependendo do calor liberado, da área de ventilação e da carga de incêndio para atingir este ambiente propício.

2.3.3 Fase do incêndio completamente desenvolvido ou pós-flashover

Nesta fase, todos os combustíveis estarão em combustão e liberando suas máximas taxas de calor, chegando a uma temperatura entre 800 a 1000° C (Quintiere, 1998).

Estas altas temperaturas e taxas de liberação de calor não são mantidas por muito tempo, em um compartimento isolado, devido ao deficiente fornecimento de ar. Então, uma compartimentação eficiente, inibiria a combustão dos materiais e o aumento da temperatura, limitando a propagação e facilitando a extinção.

Seito (2008) afirma que não existem incêndios iguais, e que no incêndio completamente desenvolvido, este é controlado tão somente pela carga de incêndio e pela ventilação (área das aberturas), e que nesta fase o incêndio se propagará pelas aberturas internas e fachadas.

Nestes incêndios controlados pela ventilação, as chamas poderão se estender para fora do compartimento, pelas aberturas, devido à insuficiência de ar no interior do ambiente incendiado (Gouveia, 2000b *apud* Lima, 2005).

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.

2.3.4 Fase de decaimento ou resfriamento do incêndio

É também chamado *smoldering phase* (fase de brasa), justamente por não apresentar mais chama deflagrada, e sim, combustão em brasa com consequente diminuição da temperatura. Isto porque a ventilação não é adequada, a pirólise dos combustíveis sólidos diminuem pois estes foram consumidos. Porém, deve-se tomar cuidado no combate ao incêndio, pois a abertura de algum acesso pode fornecer a mistura adequada combustível/comburente e ocorrer uma segunda ignição (De Haan, 2007).

2.3.5 Curva temperatura-tempo

Como mencionado anteriormente, o incêndio possui fases bem distintas durante o seu desenvolvimento, permitindo que seja estabelecida uma função com variáveis de temperaturas atingidas pelos gases do compartimento sinistrado ao longo do tempo.

O gráfico gerado por estes dados denomina-se curva temperatura-tempo de um incêndio natural, apresentado na figura 3. No entanto, devido o incêndio ser um fenômeno que interage com as condicionantes ambientais, carga de incêndio e ventilação por exemplo, cada acontecimento gera uma curva diferenciada, apresentando todas as fases, porém em tempo e temperaturas diferentes.

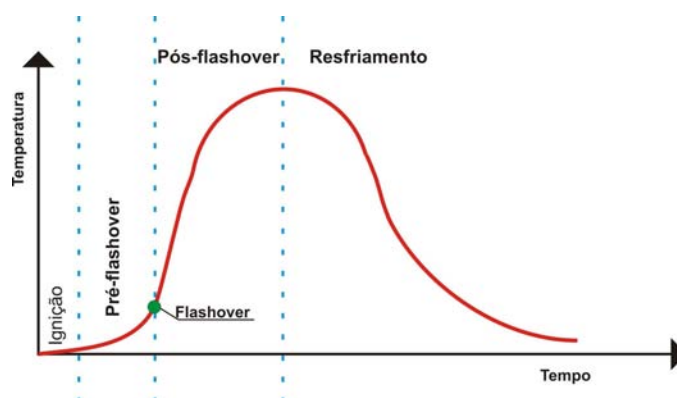


Figura 3: Exemplo esquemático de uma curva temperatura-tempo de um incêndio natural e suas fases.

A degradação das estruturas e dos elementos de compartimentação ocorrem a partir do *flashover*, devendo-se prever sistemas de proteção contra incêndios que evitem isto (Purkiss, 1996 *apud* Lima, 2005).

Quintiere (1998) e Silva (2004) afirmam que, a partir daí, deve-se levar em consideração os efeitos térmicos nas estruturas, podendo existir danos.

Ainda, Buchanan (2002) *apud* Lima (2005), diz que a informação mais valiosa para o dimensionamento de estruturas são as temperaturas do ambiente após o *flashover*, ou seja, o ramo ascendente da curva de incêndio natural.

A partir desta preocupação, já no final dos anos 50, Kawagoe, do *Building Research Institute* do Japão, e Öden do *Royal Institute of Technology* da Suécia, em trabalhos independentes, apresentaram os primeiros estudos baseados no ramo ascendente dos incêndios naturais compartimentados (Silva, 2004).

E para facilitar o dimensionamento das estruturas e dos sistemas de proteção, na falta de estudos minuciosos, foram desenvolvidas curvas padronizadas de incêndio, apresentando apenas um ramo ascendente, o que interpreta a preocupação com a estabilidade estrutural a

partir do *flashover*, com o atingimento das máximas temperaturas. O gráfico gerado chama-se curva incêndio-padrão.

A mais conhecida e utilizada nacionalmente, por ser acolhida pela NBR 14432/2001, é a curva apresentada na ISO 834 – *Fire resistance test – elements of building construction* (1994), construída a partir da expressão $\theta - \theta_0 = 345 \log(8t + 1)$, como mostrada na figura 4, onde θ é a temperatura a ser atingida no tempo t , a partir da temperatura inicial $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$.

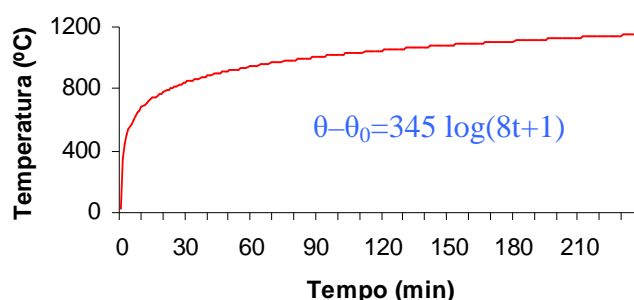


Figura 4: Curva de incêndio padrão temperatura-tempo apresentada na ISO 834/94 e acolhida pela NBR 14432/01.

Contudo, apesar destas curvas padronizadas serem obtidas em análises experimentais e admitidas no meio técnico com a finalidade de fornecer parâmetros de projeto, estas devem ser utilizadas com cuidado, pois não representam um incêndio real e não consideram características particulares de cada ambiente (Silva, 2004; Lima, 2005).

Conforme Silva (2004), a primeira norma a considerar o modelo de incêndio natural foi a *Swedish Building Resolutions* (SBN) 67, de origem sueca. Logo a seguir, os suecos Petterson, Magnusson e Thor desenvolveram um modelo padronizado de curva de incêndio considerando o grau de ventilação do compartimento e sua carga de incêndio, contendo um ramo descendente do fogo, o qual resultaram as recomendações da SBN em 1975, como mostrado na figura 5 e na equação (2).

$$\theta_g - \theta_{g,0} = 1325[1 - 0,324e^{-0,2t} - 0,204e^{-1,7t} - 0,472e^{-19t}] \quad (2)$$

Onde:

θ_g é a temperatura em função do tempo;

$\theta_{g,0}$ é a temperatura inicial, geralmente considerada 20°C ;

t é o tempo em minutos.

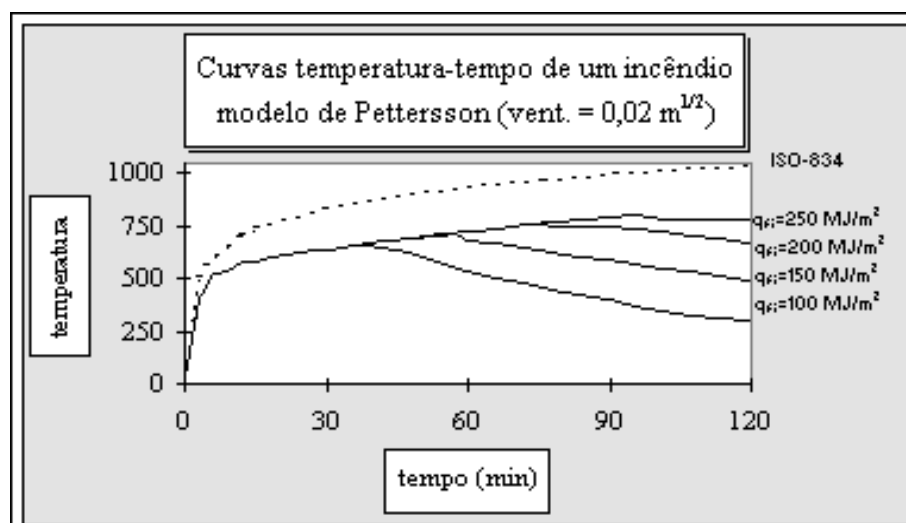


Figura 5: Modelo de Petterson *et al.* de curva tempo-temperatura de um incêndio com o grau de ventilação igual a $0,2 \text{ m}^{1/2}$.

O grau de ventilação é um fator que representa a disponibilidade de fornecimento de oxigênio, presente no ar para “alimentar” o incêndio, em relação à quantidade, tamanho e geometria das aberturas. É dado pela fórmula (3) (Silva, 2004; Bailey, 2008):

$$O = \frac{A_v \sqrt{h_{eq}}}{A_t} \quad (3)$$

Sendo:

O – Grau de ventilação ($\text{m}^{1/2}$);

A_v – Área total das aberturas para o ambiente externo (m^2);

A_t – Área total do compartimento (piso, teto, paredes incluindo as aberturas);

h_{eq} – Altura média das aberturas (m), dada pela fórmula (4):

$$h_{eq} = \frac{\sum h_i A_i}{A_v} \quad (4)$$

Onde:

h_i – Altura da abertura i (m);

A_i – Área da abertura i (m²);

A partir de proposta de Wickström, baseado nos modelos de Petterson, foi inserido no Eurocode 1 (1995) a expressão parametrizada do ramo ascendente da curva tempo-temperatura, dependente do grau de ventilação e do material constituinte da vedação, como mostrado nas equações (5), (6) e (7) (Silva, 2004).

$$\theta_g = 1325[1 - 0,324e^{-0,2t'} - 0,204e^{-1,7t'} - 0,472e^{-19t'}] \quad (5)$$

$$\psi = \left(\frac{O}{0,04}\right)^2 \left(\frac{1160}{\sqrt{\rho c \lambda}}\right)^2 \quad (6)$$

$$t' = t\psi \quad (7)$$

Sendo:

θ_g , a temperatura em função do tempo;

t' , o tempo parametrizado;

t , o tempo real;

ψ , o parâmetro de relação com o grau de ventilação (O) e as características do material constituinte da vedação ($\sqrt{\rho c \lambda}$);

$\sqrt{\rho c \lambda}$, expressão relativa às características do material que constitui a vedação do compartimento, sendo a massa específica, o calor específico e a condutividade térmica respectivamente. Para vedações de alvenaria convencional e concreto, o valor considerado é 1160 J/m²s^{1/2}°C.

2.4 COMPARTIMENTAÇÃO

Dentre todos os COSCIP do Brasil, há a unanimidade quanto ao conceito de isolamento de risco. São apresentados como medidas de proteção passiva capazes de limitar a propagação do fogo e dos gases para ambientes adjacentes ao compartimento sinistrado, protegendo as edificações vizinhas, garantindo a retirada segura das pessoas e possibilitando o acesso aos agentes de salvamento e combate ao incêndio. Este isolamento pode ser obtido através da separação entre edificações e da compartimentação de áreas (horizontal e vertical).

A divergência está em considerar o isolamento de risco um atenuador das exigências dos sistemas a serem instalados, como na Lei Complementar nº 420/98 do município de Porto Alegre, que considera inclusive a compartimentação como limitador de edificações distintas para efeitos do dimensionamento. Contudo, a legislação paulista considera edificações distintas apenas as que cumprem a IT nº 07/04 quanto à separação entre elas, no mesmo lote ou não. A compartimentação de áreas é apenas um sistema a ser obrigatoriamente instalado conforme a IT nº 09/04 da mesma instituição. Corrobora com esta definição, a Norma Técnica (NT) nº 02/00 do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal, a qual considera edificações isoladas e distintas para efeito de dimensionamento dos sistemas de segurança àquelas que possuem o distanciamento estipulado, ou ainda, para risco baixo, é permitida a utilização de uma parede cega de alvenaria ou concreto.

Classificada pelos códigos de segurança contra incêndio e pânico como um sistema passivo e estrutural, a compartimentação é definida pelo Decreto-Lei 5.672/1990, do Mato Grosso do Sul, como isolamento através das paredes resistentes a combustão, portas corta-fogo, destinado a evitar ou reduzir as probabilidades de propagação do fogo.

A IT nº 03/04 do Corpo de Bombeiros de São Paulo, conceitua compartimentação como sendo as medidas de proteção passiva, constituídas de elementos de construção resistentes ao fogo, destinadas a evitar ou minimizar a propagação do fogo, calor e gases, interna ou externamente ao edifício, no mesmo pavimento ou para pavimentos elevados consecutivos.

Já a Instrução Técnica nº 02 do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais diz que compartimentação é a característica construtiva, concebida pelo arquiteto ou engenheiro, para dividir cômodos, objetivando o isolamento térmico e a estanqueidade à fumaça, sendo seus elementos resistentes à variação térmica pelo TRRF exigido por norma correspondente.

Segundo a NBR 13860/97, que trata sobre a terminologia relativa à segurança contra incêndios, esta estabelece a separação conceitual entre compartimentação horizontal como sendo a divisão de um pavimento em duas ou mais unidades autônomas, executada por meio de paredes e portas resistentes ao fogo; e a compartimentação vertical como sendo o conjunto de medidas de proteção contra incêndios que tem por finalidade evitar a propagação de fogo, fumaça ou gases de um pavimento para outro, interna ou externamente.

Mais claramente, a compartimentação divide-se de acordo com a direção da restrição à propagação, horizontal ou vertical. Cada tipo, possui um rol de elementos construtivos demonstrados na tabela 5, provenientes da Instrução Técnica nº 07 do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais, da Instrução Técnica nº 09 do Corpo de Bombeiros de São Paulo, da Norma Técnica nº 09 do Corpo de Bombeiros de Goiás, da Norma Técnica nº 07 do Corpo de Bombeiros de Tocantins.

Tabela 5: Elementos construtivos que compõem as compartimentações horizontal e vertical

Compartimentação Horizontal	<ul style="list-style-type: none"> - Paredes de compartimentação resistentes ao fogo; - Portas corta-fogo; - Vedadores corta-fogo; - Registros corta-fogo (dampers); - Selos corta-fogo; - Afastamento horizontal entre aberturas.
Compartimentação Vertical	<ul style="list-style-type: none"> - Entrepisos corta-fogo; - Enclausuramento de escadas por paredes corta-fogo; - Enclausuramento de elevadores e monta-carga, poços para outras finalidades por meio de porta pára-chama; - Selos corta-fogo; - Registros corta-fogo (dampers); - Vedadores corta-fogo; - Os elementos construtivos corta-fogo / pára-chama de separação vertical entre pavimentos consecutivos; - Selagem perimetral corta-fogo.

Fonte: Instrução Técnica nº 07 do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais, Instrução Técnica nº 09 do Corpo de Bombeiros de São Paulo, Norma Técnica nº 09 do Corpo de Bombeiros de Goiás, e Norma Técnica nº 07 do Corpo de Bombeiros de Tocantins.

O *Fire Protection Handbook* (NFPA, 1987), o código de Segurança contra incêndio e pânico do Estado do Rio Grande do Norte e a Lei Complementar 420/98 do município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, também consideram como compartimentação horizontal o isolamento de riscos através de paredes corta-fogo que ultrapassem a linha do telhado entre unidades autônomas da mesma edificação ou de vizinhas. Também, está previsto como compartimentação vertical, a separação entre vergas e peitoris de andares consecutivos, embora haja divergência entre a distância segura a ser adotada.

Ainda, os compartimentos são divisões internas horizontais, verticais, ou uma combinação de ambas, de uma edificação de grande porte, com o propósito de limitar a propagação do incêndio por toda a edificação, garantindo a rápida desocupação dos pavimentos adjacentes, quer acima ou abaixo das áreas diretamente afetadas (Malhotra, 1993 *apud* Marcatti *et al*, 2008).

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; e 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).

Em vários edifícios de grande altura, alguns ocupantes que não puderam escapar através das saídas de emergência foram capazes de permanecer suportando grandes incêndios situados em apartamentos anexos aos seus (Watrous, 1969 *apud* NFPA, 1987).

Segundo Marcatti *et al* (2008), o papel da compartimentação é impedir o crescimento do incêndio em uma edificação por meio de barreiras resistentes ao fogo, aumentando a segurança nas ações de abandono do prédio pelos ocupantes e combate a incêndio.

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 haja uma janela aberta.

Internamente, as lajes e paredes resistentes ao fogo constituem um excelente sistema de compartimentação. Todavia, os pontos que requerem maior preocupação são os vãos internos (dutos e *shafts*) e os externos (janelas), pois são a solução de continuidade de um compartimento, por onde o fogo e a fumaça podem se alastrar, bem como o ar pode entrar para manter a combustão.

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).

Para a compartimentação interna, como já visto, existem diversas maneiras de vedação destes vãos, dentre eles citamos os selos, registros (*dampers*), vedadores, portas e paredes corta-fogo, todos expressos em norma e disponíveis no mercado.

Também, está tácito em algumas normas, a utilização de saliências externas verticais, em continuidade aos pisos, e com a mesma resistência ao fogo destes, exigida pelos Códigos de Segurança contra Incêndio e Pânico (COSCIP) e dimensionadas pela NBR 14432/01, conforme mostrado na figura 6.



Figura 6: Demonstração esquemática do funcionamento da compartimentação vertical externa (Costa *et al.*, 2005)

É notório sobre a compartimentação que através dos vãos externos se manifesta uma descontinuidade crítica à qual se deve dedicar muita atenção (Rosso, 1975).

A *Fire Research Station* inglesa *apud* Rosso (1975) realizou trabalhos experimentais no sentido de comprovar a eficiência da compartimentação vertical externa através do prolongamento dos pisos, concluindo que este sistema apresenta utilidade limitada, não sendo suficiente para impedir a propagação direta da chama para o pavimento sucessivo, recomendando uma abordagem mais ampla.

Para Rosso (1975), a compartimentação 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.

A quantidade de combustível disponível e sua distribuição no compartimento podem ser expressas pela carga de incêndio.

O *Fire Protection Handbook* (1996) *apud* Marcatti *et al* (2008) acrescenta que os estudos destinados a definir a compartimentação deve levar em consideração a severidade do incêndio, a carga de incêndio do edifício, os efeitos da ventilação e a forma como o incêndio pode propagar-se.

O efeito do vento pode provocar a deflexão da chama para o interior da edificação. Contudo, ele pode aumentar a velocidade de combustão, mas sem causar crescimento proporcional da temperatura. Assim, um incremento na resistência dos elementos construtivos não se torna necessário devido à intensidade do vento, mas o risco de propagação do fogo para locais adjacentes é aumentado (Rosso, 1975).

Um exemplo foi o histórico incêndio no edifício Joelma em 1º de fevereiro de 1974, onde não existia qualquer tipo de sistema de compartimentação. Segundo relatos à revista eletrônica “Bombeiros Emergência”, o prédio apresentava estrutura de concreto armado com vedações externas de alvenaria convencional cobertos por reboco e revestidos por ladrilhos cerâmicos na parte externa. As aberturas para janelas eram de vidro plano em esquadrias de alumínio.

Nos escritórios, a compartimentação interna era feita por divisórias de madeira e o forro era constituído por placas de fibra combustível fixadas em ripas de madeira e o contra-piso era forrado por carpete. As fotos sequenciais, apresentadas nas figuras 7 e 8, mostram a rápida

propagação das chamas pela fachada externa, que conforme Rosso (1975), atingiram a altura de dois pavimentos acima sucessivos devido à grande carga de incêndio e à falta de compartimentação.

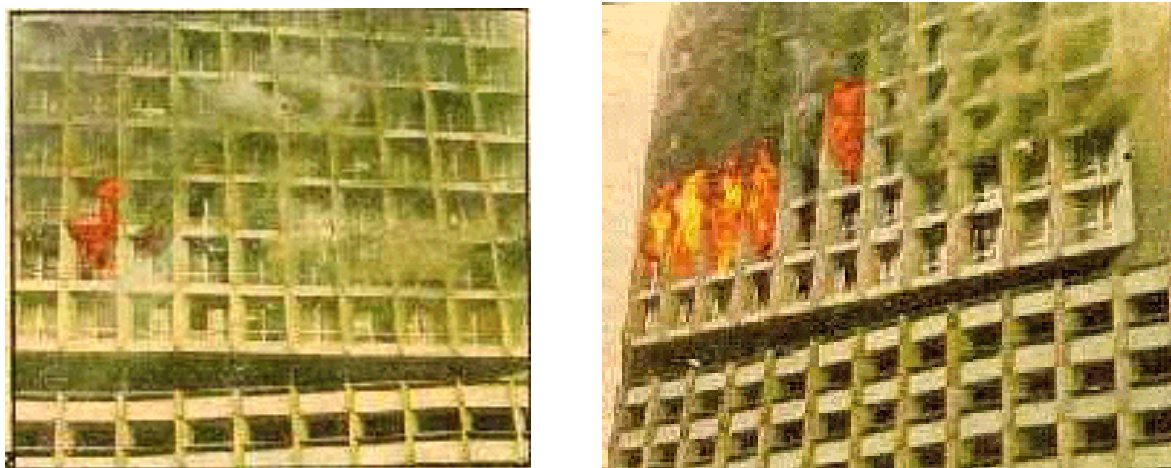


Figura 7: Instantes iniciais do incêndio no edifício Joelma em São Paulo – 1974 (Revista Eletrônica Bombeiros Emergência)



Figura 8: Propagação externa vertical e horizontal do incêndio no edifício Joelma – São Paulo (Revista Eletrônica Bombeiros Emergência)

Outro exemplo mais recente foi o incêndio na sede do INSS em Brasília, no dia 27 de dezembro de 2005, que conforme o laudo pericial do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal, iniciou no 7º andar devido a um curto-circuito originado por uma impressora.

Nota-se nas fotos, apresentadas nas figuras 9 e 10, que a compartimentação externa inadequada auxiliou a propagação vertical. As chamas chegaram a atingir diretamente pela fachada externa até quatro pavimentos acima consecutivos.



Figura 9: Propagação externa do incêndio na sede do INSS em Brasília – 2005 (Arquivo do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal)



Figura 10: Fachada da edificação sede do INSS em Brasília após o incêndio (Arquivo do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal).

3 PANORAMA GERAL DA NORMATIZAÇÃO DE SCIP

3.1 HISTÓRICO DA NORMATIZAÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO NO BRASIL

Pode-se afirmar que a normatização sobre prevenção e proteção contra incêndio e pânico possui um marco temporal histórico, a partir da década de 70, devido a 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 e escadas e da incombustibilidade de escadas e da estrutura de prédios elevados (Gill *et al*, 2008).

Duas principais tragédias ocorridas em São Paulo traçaram esta “nova era”, os incêndios nos edifícios Andraus, em 1972, e Joelma, em 1974, onde foram vítimas, entre mortos e feridos, 361 e 479 pessoas respectivamente (Bombeiros Emergência, 2008).

Então, sucessivas legislações e regulamentações foram surgindo, manifestando a preocupação do poder público e da comunidade científica em garantir o salvaguardo da vida.

Dentre elas destacamos o Decreto municipal de São Paulo n° 10.878/74, sobre normas especiais de segurança dos edifícios, incorporada à Lei n° 8.266/75, Código de Edificações do município de São Paulo.

Também, foi estabelecido o Código contra incêndio e pânico do Estado do Rio de Janeiro através do Decreto Estadual n° 897, de 21 de setembro de 1976, que regulamentou o Decreto-Lei n° 247/75, de mesma matéria.

Por curiosidade, antes do Estado do Rio de Janeiro, a Paraíba e o Rio Grande do Norte já haviam posto em vigor códigos de segurança contra incêndio, com leis específicas datadas dos anos de 1973 e 1974 respectivamente, não sendo muito divulgadas nas literaturas atuais.

Ainda, foi editada pelo Ministério do Trabalho em 1978, a Norma Regulamentadora n° 23 (NR-23), a qual exigia sistemas de proteção e combate a incêndios nos locais de trabalho.

No Rio Grande do Sul, uma das maiores tragédias foi o incêndio das Lojas Renner no centro de Porto Alegre, em 1976, onde morreram 42 pessoas. Geyger (2008) reportou em entrevista com um oficial bombeiro que atuou no combate e salvamento naquele episódio, que como é de costume, o infortúnio provocou uma série de mudanças normativas, com foco na prevenção, como também motivou a criação de um Grupamento de Busca e Salvamento.

Salienta ainda, que atualmente, este incidente não teria àquelas proporções, ou seja, todas as pessoas seriam salvas e o fogo seria apagado no próprio andar em que se iniciou. Porém, a preocupação específica e legalmente formalizada é recente, manifestada através da Lei Estadual n° 10.987, de 11 de agosto de 1997, a qual obriga a todos os estabelecimentos, exceto residências unifamiliares, a elaboração do plano de prevenção e proteção contra incêndio.

3.2 COMPETÊNCIA DOS CORPOS DE BOMBEIROS PARA A NORMATIZAÇÃO E A FISCALIZAÇÃO

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, estabelece em seu artigo 144, que a segurança pública é exercida para a preservação da ordem pública e da incolumidade das pessoas e do patrimônio, realizada, dentre outros órgãos, pelos Corpos de Bombeiros. As atividades de prevenção e proteção contra incêndios estão inseridas no dever que o poder público tem de garantir a integridade da vida.

Em âmbito estadual, as legislações inseriram em seus contextos, quer sejam nas respectivas Constituições ou em leis específicas, de forma tácita, a responsabilidade dos Corpos de Bombeiros em realizar tais atividades.

Muitas Leis de Organização Básica dos Corpos de Bombeiros, ou das Polícias Militares que possuem os bombeiros vinculados a elas, redigidas e aprovadas pelas respectivas assembleias

legislativas, definem a responsabilidade não só pela prevenção, incluindo a normatização e a fiscalização. Dentre elas destacamos o Decreto do Distrito Federal nº 16.036/94, que regulamenta a Lei Federal nº 8.255/91, em seus artigos 3 e 23, abaixo transcritos.

Art. 3º - Compete ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal:

I - realizar serviços de prevenção e extinção de incêndios;[...]

VI - realizar atividades de segurança contra incêndio e pânico, com vistas à proteção das pessoas e dos bens públicos e privados;[...]

X - fiscalizar, na área de sua competência, o cumprimento da legislação referente a prevenção contra incêndios, salvamentos e pânico;[...]

Art. 23 - A Diretoria de Serviços Técnicos, órgão de direção setorial do sistema de engenharia de segurança, incumbe-se de estudar, analisar, planejar, controlar e fiscalizar as atividades atinentes a segurança contra incêndio e pânico no território do Distrito Federal, tendo, ainda, as seguintes competências orgânicas:[...]

II - elaborar normas de segurança contra incêndio e pânico e propor programas relativos a sua área de atribuição;[...]

E de forma mais específica, para que a implantação dos sistemas de prevenção, proteção e combate a incêndios se torne obrigatória, os legislativos estaduais aprovam, em forma de lei, os detalhamentos exigidos para a instalação e os procedimentos para a aprovação destes, dando poderes legais aos Corpos de Bombeiros para normatização, fiscalização e sanção. São os chamados Códigos de Segurança Contra Incêndio e Pânico (COSICIP) ou Regulamentos de Segurança contra Incêndio e Pânico (RSIP), que a exemplo do Estado de Goiás, a Lei nº 15.802/2006 define:

Art. 4º - Compete ao Comandante-Geral do Corpo de Bombeiros Militar aprovar as Normas Técnicas do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás (NTCBMGO), elaboradas conforme previsto nesta Lei, competindo aos órgãos próprios da corporação a inspeção, análise e aprovação de projetos de Instalações Preventivas de Proteção contra Incêndio, Explosão e Pânico nas edificações, e inspecionar estas quanto à execução dos projetos aprovados, bem como coordenar e executar as ações de defesa civil no âmbito do Estado, podendo o Comandante-Geral da Corporação expedir normas [...]

Em outros, como o Rio Grande do Sul, existem instrumentos legais que aprovam as normas de segurança contra incêndio e pânico, lançando a obrigatoriedade do cumprimento das Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR) especificadas, dando a possibilidade do Corpo de Bombeiros elaborar pareceres técnicos relativos a inovações de sistemas já à disposição no mercado ou lacunas existentes, não quanto à realização de novos ditames técnicos e legais.

Então, os Corpos de Bombeiros que possuem a competência para normatização, editam as normas ou instruções técnicas, embasadas em normas brasileiras (NBR-ABNT) e

internacionais, as quais buscam elencar todos os sistemas a serem instalados e seus respectivos detalhamentos.

Ainda, existem unidades federativas que instituíram legalmente comitês ou conselhos compostos juntamente com a comunidade técnica e científica, para a avaliação contínua da execução, revisão e alterações das normas e instruções técnicas, bem como para análise dos casos omissos ou atualizações tecnológicas. O Decreto Estadual nº 46.076/01 de São Paulo explicita:

Artigo 32 – Fica instituída Comissão Especial de Avaliação (CEA), [...], que é presidida pelo Comandante do CBPMESP e composta por 2 (dois) representantes da própria Corporação, 2 (dois) representantes do Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Municipal (CEPAM), 2 (dois) representantes de entidades públicas ou privadas, ligadas às questões de segurança e incêndio, 2 (dois) representantes de Universidades, 2 (dois) representantes da Associação Brasileira de Normas Técnicas e outros representantes afins.

Artigo 33 – Competirá à Comissão a que alude o artigo anterior:

I – avaliar a execução das normas previstas neste Regulamento e os eventuais problemas ocorridos em sua aplicação;

II – apresentar propostas de alteração do Regulamento.

Parágrafo único – As propostas de alteração do Regulamento e das ITCB deverão ser apreciadas por Comissão Técnica antes de serem homologadas pelo Comandante do CBPMESP, desde que as considere convenientes e oportunas, e na medida que atendam aos objetivos deste Regulamento.

Cabe salientar que muitos COSCIP estão sendo reformulados ou elaborados pelos Corpos de Bombeiros de alguns Estados, devido a alguns fatores a seguir elencados, por isso, inovações podem surgir à curto prazo:

- a) reestruturação organizacional dos Corpos de Bombeiros. Em alguns casos, as corporações foram recentemente desvinculadas das polícias militares;
- b) inexistência de lei específica de segurança contra incêndio e pânico.

3.3 PANORAMA DA NORMATIZAÇÃO INTERNACIONAL SOBRE COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EXTERNA

3.3.1 Comunidade Européia

A partir de 2002, o Eurocode 1- *Actions on structures*, inseriu em seu corpo normativo, a EN 1991-1-2 – *Actions on structures exposed to fire*, onde dentre tantos detalhamentos sobre

segurança contra incêndio e pânico, há um tópico dedicado à propagação do fogo através das janelas.

De acordo com esta norma, a dimensão e a trajetória da chama através da janela de um compartimento incendiado depende da existência ou não de uma parede sobre o compartimento e da relação entre a altura e a largura da abertura, ou seja, de sua forma (Bailey, 2008).

Também, há na norma uma relação entre a carga de incêndio do compartimento e o seu grau de ventilação para a determinação da máxima temperatura a ser atingida durante um tempo estimado de queima livre de 1.200 segundos (20 minutos), o qual de acordo com as curvas de incêndio padrão existentes, é o tempo médio necessário para atingir o *flashover*, conforme equações (8) e (9) .

$$T_f = 6000(1 - e^{-0,1/Q}) \cdot Q^{0,5} \cdot (1 - e^{-0,00286Q}) + T_0 \quad (8)$$

$$Q = \frac{A_f q_{f,i}}{\sqrt{A_v A_t}} \quad (9)$$

Sendo:

T_f – Temperatura máxima do compartimento;

T_0 – Temperatura inicial (= 20°C);

Ainda, segundo Bailey (2008), a presença de marquises/sacadas, ou a ausência de parede acima da janela do compartimento sinistrado, altera a trajetória e o comprimento da chama ejetada, sendo estimadas relações com a geometria da fachada e da abertura, bem como com a carga de incêndio.

São estabelecidas duas condições que modificam o dimensionamento: a condição de direcionamento forçado da chama, quando há janelas em lados opostos do compartimento ou suprimento de ar adicional de outra fonte; e a condição de não direcionamento forçado da chama, quando as janelas com chamas forem as únicas fontes de suprimento de ar, conforme figuras 11 e 12 .

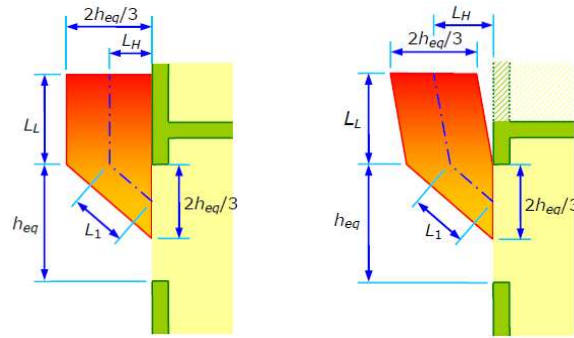


Figura 11: Desenho esquemático da trajetória e do comprimento da chama ejetada pela janela sem a presença de marquises/sacadas, com e sem parede, respectivamente, na fachada acima do compartimento sinistrado, e sem direcionamento forçado da chama (Bailey,2008).

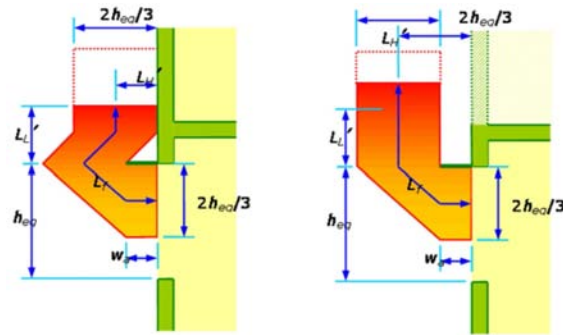


Figura 12: Desenho esquemático da trajetória e do comprimento da chama ejetada pela janela com a presença de marquises/sacadas, com e sem parede, respectivamente, na fachada acima do compartimento sinistrado, e sem o direcionamento forçado da chama (Bailey,2008).

3.3.2 Escócia

A segurança contra incêndio é referenciada especificamente em duas normas: a *Fire Act 2005* e a *Fire Safety Regulations 2006*. Em seus anexos técnicos, a compartimentação é tratada com propriedade quanto ao tempo de resistência ao fogo das paredes e estruturas, da limitação de áreas, da inserção de elementos de vedação nos locais internos como shafts e da separação dos andares e edificações de diferentes ocupações por lajes ou paredes cegas corta-fogo.

Também, preocupa-se sobremaneira com a propagação do fogo através dos forros e “cavidades invisíveis” como forros falsos.

Quanto às aberturas, é tratado sobre a inserção de janelas e portas com resistências determinadas, sendo então que, sobre compartimentação vertical externa, recomenda-se somente a resistência ao fogo dos elementos que compõem a janela.

3.3.3 Espanha

Vigorando através do Decreto Real nº 2.177 de 04 de outubro de 1996, a Norma Básica da Edificação no que concerne às condições de proteção contra incêndios, denominada NBE-CPI/96, estabelece áreas máximas a serem compartimentadas, modificadas de acordo com o dimensionamento de chuveiros automáticos.

Sobre a compartimentação externa, ela prevê em seu artigo 15 que quando paredes ou pisos resistentes ao fogo encontrem a fachada, as paredes desta deverão ter sua extensão perpendicular, de 1 ou 2 metros, com pelo menos metade da resistência do elemento compartimentador, conforme figuras 13 e 14.

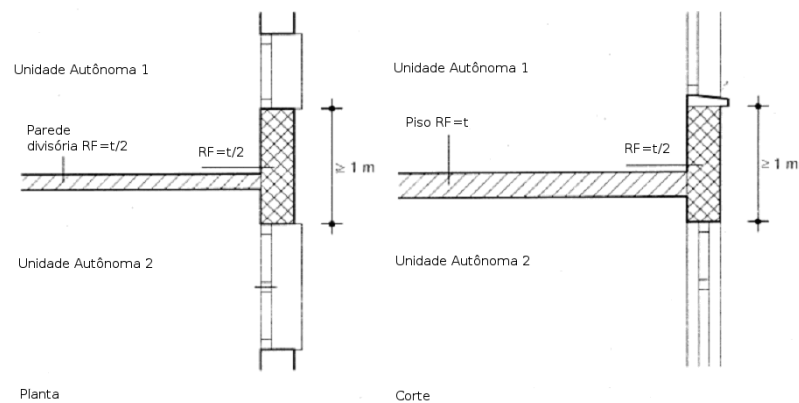


Figura 13: Desenho esquemático da extensão exigida da parede da fachada resistente ao fogo ao encontrar-se com a parede ou o piso compartimentadores (NBE-CPI, 1996).

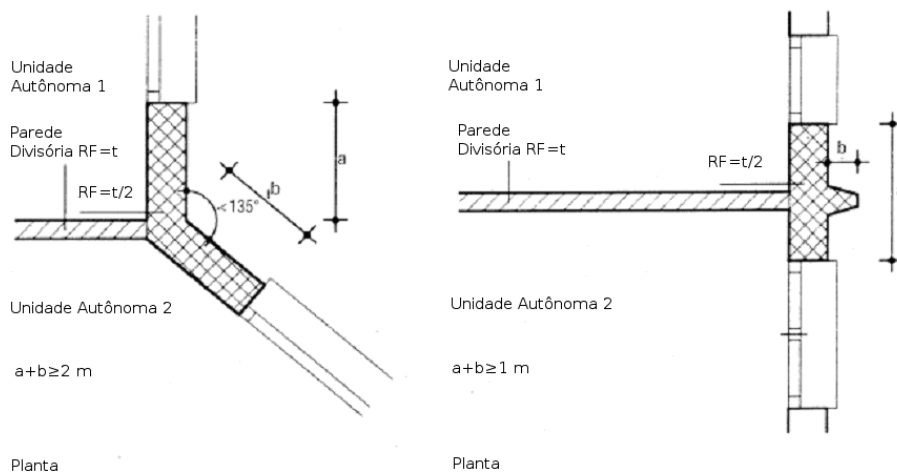


Figura 14: Desenho esquemático da extensão exigida de parede resistente ao fogo na fachada quando encontra-se com a parede interna compartimentadora, em ângulo ou com saliência externa (NBE-CPI, 1996).

3.3.4 Estados Unidos da América

O *Fire Protection Handbook* da *National Fire Protection Association* – NFPA (1987) discorre sobre a segurança contra incêndios no desenho da construção e o confinamento do fogo em edifícios.

Ele recomenda sobre a compartimentação as normas NFPA 80 (*Standards for Fire Doors and Windows*), NFPA 80 A (*Recommended Practice for Protection of Buildings from Exterior Exposures*) e a NFPA 101 (*Code for Safety to Life from Fire in Buildings and Structures*). Na seção 8.6 da NFPA 101, é tratada a proteção das aberturas verticais, mas não trata especificamente de compartimentação vertical externa, e sim da resistência dos elementos internos, das aberturas e dos vidros.

O manual trata a propagação do fogo sofrendo principal influência da carga de incêndio e da ventilação (conforme área das aberturas), prevendo paredes e pisos resistentes ao fogo, a estanqueidade das aberturas verticais internas e a instalação de portas corta-fogo.

Sobre a compartimentação externa, ela cita a necessidade de colocação de janelas, vidros e persianas resistentes ao fogo, destacando ainda, a separação de edifícios ou zonas independentes por um muro corta-fogo com saliência externa contínua de 90 cm nas laterais e cobertura da edificação, conforme figura 15.

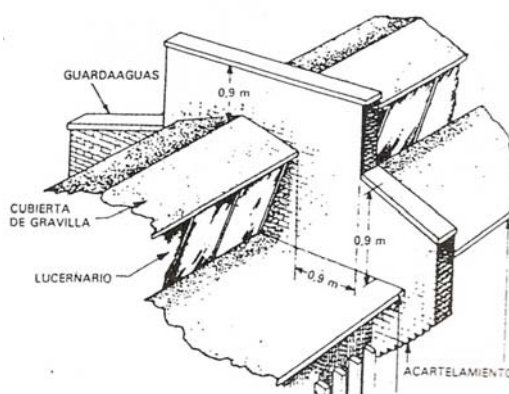


Figura 15: Desenho esquemático do muro de separação exigido pela *Fire Protection Handbook* (NFPA, 1987).

3.3.5 França

A CO 21- “*Résistance à la propagation verticale du feu par les façades comportant des baies*”, especifica claramente a compartimentação vertical externa por meio de saliências ou sacadas, estabelecendo uma relação da distância entre as vergas e peitoris ou entre as vergas e as saliências com as projeções destas, conforme figura 16.

Esta relação denominada na norma como regra do C+D, mostrada abaixo, varia de acordo com a carga de incêndio da fachada (q_{fi}), marquise ou sacada, devendo ser aplicada em edifícios maiores de 8 metros. Caso a fachada seja de alvenaria convencional, $q_{fi}=0$.

$$C+D \geq 1 \text{ m} \rightarrow q_{fi} \leq 80 \text{ MJ/m}^2$$

$$C+D \geq 1,3 \text{ m} \rightarrow q_{fi} > 80 \text{ MJ/m}^2$$

Onde:

C = altura da verga (m);

D = projeção da fachada (m);

q_{fi} = carga de incêndio por área de fachada

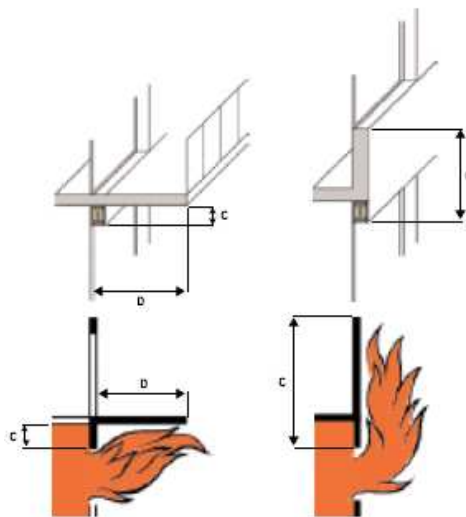


Figura 16: Desenho esquemático da relação C+D da CO-21 (Archambault e Thomas, 2005).

3.3.6 Japão

A normatização do Japão é dividida em cinco leis que tratam sobre a prevenção e proteção contra incêndio, sendo elas a *Fire Defense Organization Law* (1947), a *Fire Service Law* (1948), a *Building Standards Law* (1950) , e a *Fire Service Law Enforcement Regulations* (1961), a *Fire Service Law Enforcement Order* (1961).

Todas as leis já receberam emendas para sua constante atualização, sendo elas interligadas entre si, pois referenciam-se nos seus textos.

De acordo com a *Fire Service Law Enforcement Order*, o código de edificações (*Building Standards Law*) em seu artigo 2º, classifica as edificações em edificações resistentes ao incêndio, semi-resistentes ou outras construções, especificando suas peculiaridades construtivas.

Ainda, a partir do seu artigo 8º, descreve as exigências para a instalação dos sistemas de proteção e combate a incêndios, diferenciando o seu dimensionamento de acordo com as compartimentações existentes de pisos e paredes, referenciadas na *Building Standards Law*.

Os trabalhos experimentais de Yokoi (1960) revelaram que uma projeção horizontal de 74 cm, perpendicular à parede e sobre a janela, previnha contra a quebra dos vidros. Esta descoberta ocasionou mudanças no código de edificações do Japão, requerendo esta saliência em algumas estruturas (Mammoser e Battaglia, 2004).

3.3.7 Reino Unido

A *Bulding Regulations 2000-Fire Safety*, em sua 9ª seção, trata com propriedade a compartimentação através de pisos e paredes resistentes ao fogo, delimitando áreas máximas e afirmando que o grau de compartimentação depende da carga de incêndio, da altura da edificação, a qual determina sua facilidade à retirada das pessoas e ao efetivo serviço de combate ao incêndio, e do sistema de chuveiros automáticos (sprinklers).

Quanto à compartimentação vertical, a norma regula internamente a segurança quanto à propagação pelos shafts, caixas de escada, dutos e aberturas entre os pisos.

Externamente, distingue-se bem as distâncias de separação das edificações conforme a altura e o ângulo entre elas, bem como se existe sacada ou marquise. Para a compartimentação

vertical externa, são definidos critérios para o distanciamento entre janelas, sendo eles a configuração e a área das aberturas, e se pertencem ao mesmo compartimento, variando de 1,5 a 4 metros de afastamento, conforme figura 17.

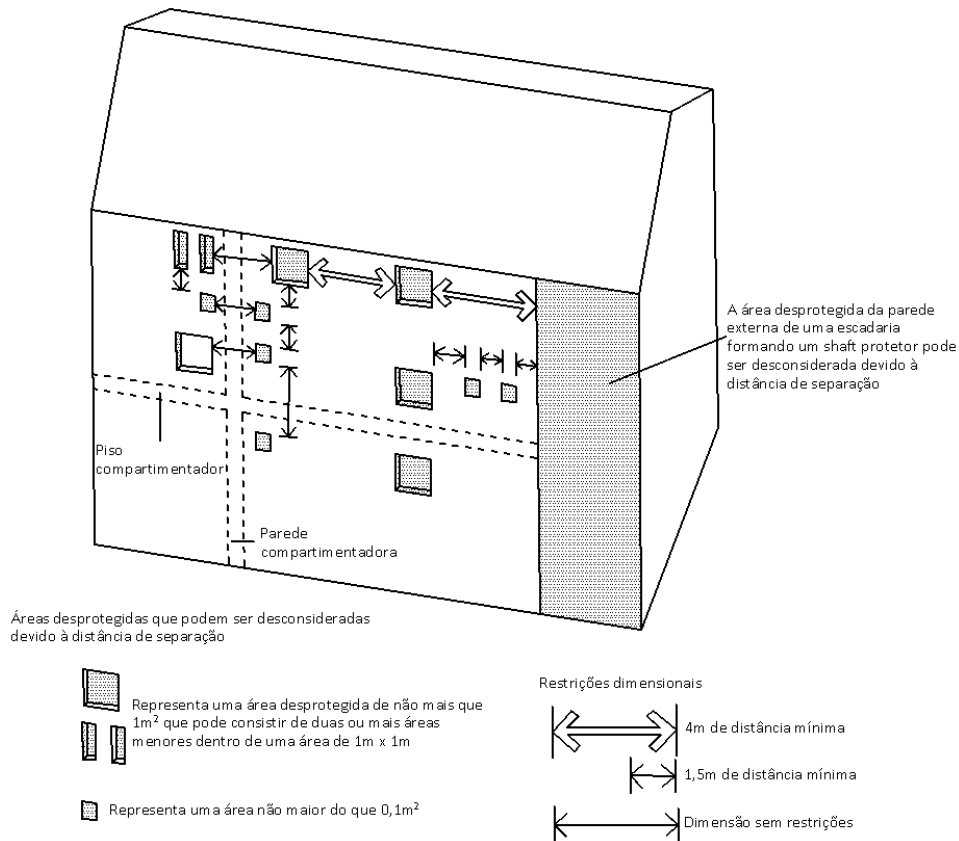


Figura 17: Desenho esquemático dos afastamentos entre aberturas exigidos pela *Building Regulations 2000- Fire Safety*, 2006.

3.3.8 Portugal

Por curiosidade, as próprias considerações preliminares do Decreto-lei que institui o Código de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE) afirmam que as exigências encontravam-se dispersas em uma excessiva quantidade de normas avulsas e dificilmente harmonizáveis entre si.

Para solucionar tal problema foi publicado o Decreto-lei Federal nº 220, de 12 de novembro de 2008, o qual atribui as competências de fiscalização para a defesa civil e as administrações municipais e as respectivas sanções. Também, realiza a classificação das edificações pela ocupação e a graduação dos riscos pela carga de incêndio e principalmente pela quantidade e características da população.

Ainda, a respectiva lei atribui que a regulamentação dos sistemas de SCIE deveriam ser explicitados através de portaria. Assim sendo, a Portaria Federal do Ministério da Administração Interna, editou em 29 de dezembro de 2008, a Portaria nº 1532, onde a partir do artigo 7º trata-se sobre as limitações de propagação do incêndio pelas fachadas.

Quanto à compartimentação vertical externa, a legislação portuguesa exige que a distância mínima entre aberturas de pavimentos sucessivos, não existindo projeções horizontais, seja de 1,1 metros.

Se houver projeção horizontal entre os pisos, esta deve ser mínima de um metro, e o somatório entre esta aba em balanço e a distância entre aberturas não pode ser inferior a 1,1 metros, devendo os elementos serem resistentes ao fogo por pelo menos 60 minutos.

3.3.9 Suécia

O seu código de edificações, chamado *Building Regulations* (BBR), editado através da norma sueca BFS 1993:57 e emendado por meio da BFS 2002:19, autoriza a utilização das normas suecas e europeias existentes, bem como trata sobre a segurança contra incêndio no seu quinto capítulo.

Como nas normas da comunidade europeia, a legislação contra incêndio da Suécia adota as exigências de comportamento dos elementos de compartimentação de acordo com o seu tempo de estabilidade, isolamento, estanqueidade e resistência.

Diretamente, a distância vertical entre janelas consecutivas deve ser de no mínimo 1,20 metros, com tempo mínimo de estanqueidade das aberturas de 15 minutos.

Um compartimento é definido como a parte de um prédio separada dos outros, no qual na possibilidade de um incêndio, não haja a propagação para as demais economias por um período de tempo prescrito.

Em caso de sacadas, deve existir para seus acessos, a separação dos compartimentos por vidros com resistência de 30 minutos.

Considera ainda, para evitar a propagação do fogo entre prédios, a necessidade de um *design* diferenciado para a proteção contra incêndio se a distância for menor do que 4 metros entre eles. A partir de 8 metros de distanciamento, considera-se edificações isoladas de riscos.

Também, habitações domiciliares devem apresentar uma distância mínima de dois metros entre si, ou deve haver resistência da fachada de pelo menos 60 minutos.

Por fim, há a exigência de resistência das aberturas que possam ser atingidas diretamente por radiação térmica, por estarem de frente uma para a outra, determinada de acordo com o distanciamento e o ângulo entre as janelas.

3.4 PANORAMA GERAL DA NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA SOBRE COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EXTERNA

3.4.1 Considerações preliminares

Atualmente, quase todos os Estados brasileiros possuem os códigos ou regulamentos de segurança contra incêndio e pânico (COSCIP ou RSIP).

Alguns têm Leis Estaduais de segurança contra incêndio e pânico que remetem suas exigências aos padrões estabelecidos pelas NBRs, enquanto outros estão em fase de elaboração. O mais importante, é que há uma consciência nacional sobre a importância da prevenção e proteção das edificações contra incêndios.

Devido a normatização ser relativamente recente, aliada a reestruturação de alguns Corpos de Bombeiros, bem como a atualização constante dos conhecimentos específicos, alguns códigos estão sofrendo adaptações. Daí a necessidade de estabelecer a competência para os Corpos de Bombeiros em editarem as normas técnicas atinentes, pois a evolução tecnológica é dinâmica, e movimentações legislativas para a aprovação de cada atualização na forma de dispositivo legal demandam longo tempo.

As normas brasileiras regulamentadoras são excelentes produções científicas a serviço do bem comum, indicadoras da boa técnica a ser utilizada. No entanto, são referências que para serem adotadas obrigatoriamente necessitam de um instrumento jurídico do poder público ao seu cumprimento.

Há também uma interação constante dos Governos Estaduais, através dos Corpos de Bombeiros, com as prefeituras municipais, que diretamente participam da fiscalização para a instalação dos sistemas de segurança contra incêndio e pânico. Quanto à compartimentação, muitos códigos que não esclarecem este sistema deixam ao encargo dos códigos de obras,

como requisito arquitetônico de segurança contra incêndio, a exemplo do Estado do Rio de Janeiro.

No Distrito Federal, as administrações locais das cidades satélites solicitam os pareceres e as inspeções aprovadas pelo Corpo de Bombeiros desde o projeto até a solicitação do alvará de funcionamento do estabelecimento. Já em Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, a prefeitura é totalmente responsável pela análise dos sistemas passivos, tais como saídas, escadas de emergência, compartimentações; e o Corpo de Bombeiros inspeciona os sistemas de proteção e combate, sejam eles extintores, instalação hidráulica sob comando, chuveiros automáticos, sinalização e iluminação de emergência.

Durante a pesquisa, percebeu-se que os Estados que estão atualizando ou elaborando seus códigos e normas técnicas, tomam como referência nacional principalmente o Estado de São Paulo e o Distrito Federal, justamente pela qualidade e o refinamento com que todos os assuntos são abordados. Então, é salutar que se faça uma breve análise das referências normativas que solidificam as instruções técnicas destas unidades federativas no que tange à compartimentação vertical externa.

3.4.2 Referências normativas

A IT 09/04, do Corpo de Bombeiros de São Paulo referencia para maiores esclarecimentos sobre compartimentação as seguintes normas:

- a) NBR 5628/1980 – Componentes construtivos estruturais – determinação da resistência ao fogo;
- b) NBR 6118/1980 – Execução de obras de concreto armado;
- c) NBR 6479/1992 – Portas e vedadores – determinação da resistência ao fogo;
- d) NBR 10636/1989 – Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo;
- e) NBR 11711/1992 – Portas e vedadores corta-fogo com núcleo de madeira para isolamento de riscos em ambientes comerciais e industriais;
- f) NBR 11742/1997 – Porta corta-fogo para saídas de emergência – Especificação;

- g) NBR 13768/1997 – Acessórios destinados à porta corta-fogo para saída de emergência – requisitos;
- h) NBR 14323/1999 – Dimensionamento de estrutura de aço de edifício em situação de incêndio – Procedimento;
- i) NBR 14432/2000 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento;
- j) NBR 9441/1998 – Execução de sistemas de detecção e alarme de incêndio;
- l) NBR 14925/2003 – Unidades envidraçadas resistentes ao fogo para uso em edificações;
- m) ISO 1182 – *Building materials - non - combustibility test*.

Ao analisar todos os conteúdos, percebe-se que a referida instrução está bem fundamentada no que diz respeito ao dimensionamento, à resistência e ao comportamento dos materiais durante o incêndio.

Para a compartimentação vertical externa, fica evidente a exigência de resistência a altas temperaturas durante o desenvolvimento do incêndio, o que não se questiona, mas não há referências normativas ou literárias que comprovem cientificamente a eficiência deste quanto ao objetivo a que está sendo proposto e exigido a cumprir, o de dificultar a propagação do fogo para os andares acima consecutivos através das janelas.

Necessitaria portanto, um embasamento normativo e científico sobre a dinâmica do fogo durante o incêndio e o desempenho funcional dos elementos construtivos, para que este detalhamento continue a ser exigido com a máxima credibilidade possível, já que por esta exigência, muitas concepções arquitetônicas deixam de ser utilizadas, ou ainda, o cumprimento desta pode acarretar aumento de custo nas obras.

Também, durante a adaptação das instruções técnicas, há a necessidade de atualização das normas referendadas. Cabe salientar que as normas técnicas (NT) n° 09/2005 do Estado de Roraima e a 09/2007 do Estado de Goiás, elencam a NBR 6118/80, sob o título “Execução de obras de concreto armado”. Ocorre que esta sofreu modificações em 2004, cabendo tal substituição nas referências normativas das NTs que vigoraram posteriormente a esta data, o que foi feito na NT n° 07/07 do Estado de Tocantins e a Instrução Técnica n° 07/06 do Estado de Minas Gerais.

Quanto à normatização do Distrito Federal, a NT n° 001/02 e a NT n° 002/00 referenciam a compartimentação para a diferenciação dos sistemas de proteção a serem instalados e para o isolamento dos riscos, não possuindo referências normativas em suas redações.

3.4.3 Panorama geral das normas brasileiras

3.4.3.1 Acre

O governo do Acre aprovou, através da Lei Estadual n° 1.137/94, regulamentada pelo Decreto Estadual n° 410/94, as especificações técnicas a serem adotadas.

No que diz respeito à compartimentação, é classificada como sistema de proteção estrutural, e ela corrobora com a diferenciação entre isolamento de riscos por afastamento entre edificações e por isolamento de pavimentos sucessivos, onde consta as distâncias entre quatro e oito metros para afastamento, e 1,20 metros entre vergas e peitoris ou aba horizontal de 1 metro, resistente ao fogo por duas horas. Também, define a compartimentação de áreas como sendo a divisão com paredes resistentes ao fogo por duas horas e aberturas resistentes à 90 minutos, espaçamento de aberturas entre unidades autônomas de dois metros, na mesma fachada em lados opostos da parede resistente, ou aba vertical com um metro de saliência, passando 60 cm das vergas, assim como aberturas em paredes paralelas, perpendiculares ou oblíquas devem distar um metro.

3.4.3.2 Alagoas

A legislação sobre SCI é muito recente, o Decreto Estadual n° 3854 de 28 de novembro de 2007, atualizou o Código de Segurança contra Incêndio e Pânico do Estado de Alagoas (COSCIPI). Este não abrange o assunto compartimentação, apenas referencia que edificações industriais, comerciais com depósitos, acima de 250 m² de área total, e galpões, devem ter paredes corta-fogo resistentes a três, quatro ou seis horas, dependendo da classe de risco. Sanciona a competência do Corpo de Bombeiros para normatizar tais matérias.

3.4.3.3 Amapá

Em similaridade com o Distrito Federal, o COSCIPI do Estado do Amapá foi aprovado em 2004, por meio da Lei Estadual n° 871. Nela, a compartimentação é citada como um sistema passivo de proteção para evitar a propagação do incêndio, mas não constam discriminações sobre a sua aplicação.

Consta na lei que o Corpo de Bombeiros do Amapá, não havendo normas nacionais ou internacionais reguladoras, tem competência para normatizar os procedimentos através de normas técnicas elaboradas pelo Conselho do Sistema de Engenharia de Segurança Contra Incêndio e Pânico e homologadas pelo comandante geral do Corpo de Bombeiros.

A NT nº 001/05, determina os sistemas a serem instalados, citando as compartimentações como requisitos à implantação dos chuveiros automáticos e sistemas de detecção e alarme, mas novamente não discrimina detalhes construtivos.

A NT nº 002/05 classifica os riscos e dimensiona o isolamento de riscos, considerando edificações independentes através da separação entre prédios ou por paredes cegas.

3.4.3.4 Amazonas

O Decreto Estadual nº 24.054/04, regulamenta a Lei Estadual nº 2.812/03, dispõe sobre o sistema de segurança contra incêndio e pânico do Estado, classificando as edificações quanto à carga de incêndio, ocupação e características construtivas.

Possui também, as instruções técnicas, fundamentadas no Decreto Estadual, com as mesmas exigências das ITs do Corpo de Bombeiros de São Paulo.

Em seu Decreto, são citadas as exigências de compartimentação horizontal e vertical, com suas peculiaridades dependendo da instalação de chuveiros automáticos, de sistema de detecção e alarme e de escada pressurizada.

3.4.3.5 Bahia

O Estado da Bahia não possui Código de Segurança contra Incêndio e Pânico, estando este em fase de elaboração e aprovação. Também, o Corpo de Bombeiros do Estado da Bahia não possui nenhuma regulamentação própria. Para qualquer outra especificação, são utilizadas as NBRs e as instruções técnicas do Estado de São Paulo.

3.4.3.6 Ceará

O Estado do Ceará obteve seu Código de Segurança Contra Incêndios a partir de 2006, com o Decreto Estadual nº 28.085/06, que regulamentou a Lei nº 13.556/04. Este dispositivo legal detém-se muito nas ações de fiscalização, infrações e sanções, apenas citando os sistemas de proteção existentes, inclusive isolamento de riscos, e que as especificações para suas

respectivas instalações ficam a cargo das normas da ABNT, normas internacionais e instruções técnicas do Corpo de Bombeiros.

Possui a NT n° 013/08 que trata exclusivamente sobre compartimentação horizontal e vertical, com as mesmas exigências do Estado de São Paulo.

3.4.3.7 Distrito Federal

O Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico (RSIP-DF), foi aprovado pelo Decreto n° 21.361/2000 do governo do Distrito Federal, o qual diz que a proteção contra incêndio será regulamentada por normas técnicas expedidas pelo Corpo de Bombeiros e homologadas pelo Conselho do Sistema de Engenharia de Segurança contra Incêndio e Pânico, composto por integrantes dos bombeiros e do CREA-DF, e sancionadas pelo comandante geral da corporação.

O RSIP apenas cita a compartimentação como um sistema passivo para controle do crescimento e da propagação do fogo, como também referencia que os casos não constantes nas normas técnicas podem ser embasados nas NBR-ABNT, ou normas internacionais desde que com a aprovação da diretoria de serviços técnicos.

A norma técnica n° 001/2002, trata da exigência dos sistemas de proteção, contudo, não especifica por sistemas, e sim por ocupação, ou seja, conforme a destinação do prédio são elencados um rol de sistemas a serem instalados, sem especificações pormenorizadas. A compartimentação é apenas citada como alternativa para a dispensa de sprinklers, ou exigência do sistema de detecção e alarme, conforme a ocupação, sendo discriminada apenas a resistência mínima de duas horas. Não existe NT específica para compartimentação.

A NT n° 002/2000 estabelece o grau de risco das edificações e as condições para isolá-lo e considerar as unidades independentes entre si, diferenciando os sistemas a serem instalados. Dependendo dos riscos, o isolamento pode ser obtido com distanciamento entre edificações ou paredes cegas de alvenaria ou concreto entre as unidades autônomas.

3.4.3.8 Espírito Santo

O COSCIP foi aprovado pela regulamentação da Lei Estadual 3.218/78, através do Decreto 2.125/85. Muito abrangente, o código não classifica riscos, apenas discrimina as exigências

conforme a ocupação dos edifícios e características de área e altura, indicando as NBRs para especificar as características construtivas ou de instalação dos sistemas de proteção.

Não há menção sobre compartimentação vertical. Apesar da competência estabelecida ao Corpo de Bombeiros para normatização, existe referência apenas sobre isolamento de risco entre edificações no Parecer Técnico nº 03/99, o qual estabelece diferenciação pela área construída e pela independência dos estabelecimentos comerciais, estando eles no térreo de um prédio irregular ou em edificação de um pavimento.

Como exemplo, estabelecimentos comerciais diferentes em um mesmo prédio de um pavimento com mais de 900 m² devem isolar os riscos com paredes corta-fogo (CF) resistentes por duas horas. As áreas isoladas devem ter menos de 900 m² e sem comunicação interna. As paredes CF deverão ultrapassar o telhado em um metro, bem como a distância entre aberturas separadas por paredes isolantes deverá ser de dois metros ou com uma aba vertical saliente um metro como prolongamento da parede.

O afastamento entre edificações, para todos os casos, deverá ser de seis metros, podendo ser reduzido a zero se inexistir qualquer abertura e a parede for corta-fogo.

3.4.3.9 Goiás

Possui o Código Estadual de Proteção Contra Incêndio, que foi aprovado através da Lei 15.802/06, e a exemplo do Estado de São Paulo, delega competência ao Corpo de Bombeiros para editarem normas técnicas relativas a implantação dos sistemas de SCI.

É feita a distinção entre isolamento de riscos por meio da separação dos prédios e as compartimentações horizontal e vertical. O Corpo de Bombeiros de Goiás editou a NT nº 07/07 sobre separação entre edifícios e a NT nº 09/07 tratando sobre compartimentações, constando as mesmas exigências do Estado acima referenciado.

3.4.3.10 Maranhão

A Lei Estadual nº 6.546, de 29 de dezembro de 1995, aprovou o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Estado. Este código foi realizado com base nas discriminações constantes na legislação contra incêndio do Rio de Janeiro, com as mesmas classificações e exigências dos sistemas, não constando nada específico sobre compartimentação.

3.4.3.11 Mato Grosso

Em 1984, o Corpo de Bombeiros já possuía uma diretoria de serviços técnicos, e especificações para instalação de proteção contra incêndio aprovadas pelo Decreto Estadual nº 857/84, porém apenas fazendo recomendações, sem obrigatoriedade.

Recentemente, existe a Lei Estadual nº 8.399/2005, onde fica a cargo do Corpo de Bombeiros, através da Diretoria de Serviços Técnicos, a expedição de normas técnicas. Este dispositivo legal, chamado Lei de Segurança Contra Incêndio e Pânico, determina as exigências dos sistemas de segurança por meio de tabelas conforme o grau de risco, a ocupação e as características construtivas, indicando para a sua instalação, as especificações das NBRs e das NTs. Não há exclusividade normativa no trato da compartimentação, nem discriminações técnicas no escopo da lei.

A lei cita a exigência de compartimentação conforme as características e a destinação da edificação, em alguns casos facultando a opção de substituir este sistema pela instalação de chuveiros automáticos e de detecção, com exceção das selagens dos dutos e shafts, os quais são sempre obrigatórios. Não são pormenorizadas as compartimentações, apenas exigidas.

3.4.3.12 Mato Grosso do Sul

O Decreto 5.672/90 que regulamenta a Lei Estadual nº 1.092/90 aprovou as especificações técnicas do Corpo de Bombeiros Militares do Mato Grosso do Sul sobre segurança contra incêndio e pânico (SCIP).

O isolamento de riscos é tratado como um item a parte, subdividido em exigência de afastamento entre edificações, que varia de quatro a oito metros; em isolamento entre pavimentos (compartimentação vertical), que descreve a necessidade de se ter o afastamento de 1,20 metros entre vergas e peitoris ou o prolongamento do antepiso (laje) com saliência de um metro. Tudo com resistência ao fogo de duas horas.

E o que seria considerado como compartimentação horizontal, é chamada pelas especificações técnicas de compartimentação de áreas, no mesmo piso, a qual exige resistência das paredes de no mínimo duas horas, das portas de pelo menos uma hora e meia, bem como o afastamento de janelas paralelas de unidades compartimentadas deve ser de dois metros ou com uma saliência externa de um metro, prolongando-se até 60 cm acima das vergas.

Também, o afastamento entre aberturas de unidades autônomas em paredes opostas, paralelas ou oblíquas deve ser de um metro.

3.4.3.13 Minas Gerais

Dentre todos os Estados, o COSCIP de Minas Gerais é o mais recente, aprovado pelo Decreto Estadual nº 44.746 de 29 de fevereiro de 2008, que regulamentou a Lei nº 14.130/01. Utiliza a mesma sistemática dos Estados de São Paulo, Tocantins e Goiás, ou seja, transfere a competência normativa ao Corpo de Bombeiros através da expedição de instruções técnicas (IT).

Também, o isolamento de riscos pela separação entre edificações e as compartimentações vertical e horizontal são tratadas de forma distinta nas IT nº 05 e 07 respectivamente, com similaridade aos Estados anteriormente elencados, à exceção da aba externa para compartimentação horizontal que, ao invés de ser 90 cm, há a obrigatoriedade de um metro de saliência.

3.4.3.14 Pará

O Decreto Estadual nº 357 de agosto de 2007 aprovou o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Pará, onde estabelece a competência do Corpo de Bombeiros em regulamentar a implantação dos sistemas de proteção juntamente com uma Comissão Especial de Avaliação composta por membros da Corporação, das universidades locais, CREA, entidades comunitárias e da ABNT.

O regulamento elenca os sistemas a serem instalados conforme o risco, a ocupação e as características da edificação, similarmente à legislação do Mato Grosso. Não especifica detalhes construtivos, apenas solicita que seja conforme as normas vigentes.

Quanto à compartimentação, apenas exige a sua estruturação em alguns casos, conforme as tabelas apresentadas no regulamento, mas não cita características construtivas, subentendendo-se que devam ser procuradas normas ou resoluções específicas, que ainda não existem.

Ainda, elenca a dispensa das compartimentações, em alguns casos, em substituição por sistemas de chuveiros automáticos, de alarme e detecção, e de pressurização de escadas, mantendo sempre a obrigatoriedade da selagem vertical interna.

3.4.3.15 Paraíba

O Corpo de Bombeiros do Estado da Paraíba desvinculou-se da polícia militar no final do ano de 2007. Por isso, até o presente momento, estão sendo realizadas adaptações em seu código para contemplar as atualizações entendidas como necessárias.

Ainda em vigor, as normas de prevenção e combate a incêndio são mais antigas que a legislação carioca, aprovadas através do Decreto Estadual nº 5.792, de 1º de fevereiro de 1973, o qual classifica os riscos pela TSIB-IRB e as exigências a serem instaladas pela ocupação e área construída.

Não consta nenhuma exigência quanto à compartimentação, apenas cita em seu art. 2º que devem ser observados, para o retardamento da propagação do fogo, paredes e portas contra fogo, pisos e tetos resistentes à combustão, afastamentos, entre outros, não existindo maiores discriminações.

Por fim, ela afirma que o Corpo de Bombeiros deverá se orientar pelas normas da ABNT, do Ministério do Trabalho e da Previdência Social, do Departamento Nacional de Seguros Privados e Capitalização e do Conselho Nacional do Petróleo.

3.4.3.16 Paraná

O Código de Prevenção de Incêndios, publicado no Boletim Geral do Comando do Corpo de Bombeiros nº 044/01, define as distâncias entre edificações, conforme tabela 6, para isolamento dos riscos entre unidades autônomas, cuja classificação foi discutida no item 2.1.

Por fim, as compartimentações são definidas a partir do art. 39 do código, sendo exigido para compartimentação horizontal paredes e aberturas resistentes ao fogo por duas horas, prolongamento da parede CF até a laje ou um metro acima do telhado, distância de dois metros entre aberturas separadas por paredes corta-fogo, ou uma saliência externa entre as aberturas de 50 cm, ultrapassando em 30 cm as vergas; e no caso de abertura paralelas, perpendiculares ou oblíquas, pertencentes a unidades autônomas distintas, a distância de separação deve ser de no mínimo dois metros. Os subsolos não destinados a garagens devem ser compartimentados em células de no máximo 500 m².

Para a compartimentação vertical, é exigido externamente uma distância de 1,30 metros entre vergas e peitoris de pavimentos sucessivos ou uma aba horizontal prolongada do entrepiso de

90 cm. Também, é exigido internamente que existam vedações que impeçam a passagem de calor, chamas, fumaça nos dutos, shafts e aberturas do prédio, permitindo vãos livres de no máximo 12 metros de altura.

Tabela 6: Distâncias a serem cumpridas entre edificações para isolamento de riscos

Confrontação de riscos (m)		Combustíveis			Resistentes ao fogo			Incombustíveis		
		RL	RM	RE	RL	RM	RE	RL	RM	RE
Combustíveis	RL	20	23	26	11	12	15	04	05	06
	RM	23	25	27	12	13	16	05	07	09
	RE	26	27	30	15	16	17	06	09	10
Resistentes ao Fogo	RL	11	12	15	08	12	16	06	10	11
	RM	12	13	16	12	15	18	10	12	13
	RE	15	16	17	16	18	20	11	13	15
Incombustíveis	RL	04	05	06	06	10	11	02	04	07
	RM	05	07	09	10	12	13	04	06	09
	RE	06	09	10	11	13	15	07	09	10

Fonte: Código de Prevenção de Incêndios – Corpo de Bombeiros do Estado do Paraná (2001).

3.4.3.17 Pernambuco

O COSCIP do Estado de Pernambuco foi criado e aprovado em 1996, o qual relaciona minuciosamente assuntos sobre a instalação dos principais sistemas, tais como hidrantes, sprinklers, alarmes, iluminação e saídas de emergência, e pára-raios (SPDA), bem como de algumas ocupações e sistemas especiais, por exemplo, centrais de gás, hospitais, postos de combustíveis, heliportos, entre outros.

Elenca a exigibilidade destes sistemas pela ocupação, constando nas próprias subseções de dimensionamento.

Não trata sobre compartimentação especificamente, e sim menciona de forma esparsa sobre isolamento de riscos de áreas, afirmando em seu artigo 254, que o objetivo deve ser alcançado por meio de afastamentos eficazes e adequados ou por paredes, portas e entrepisos corta-fogo. O seu dimensionamento deve ser função da natureza da ocupação, da densidade populacional, da carga de incêndio e do grau de dificuldade à ação dos bombeiros. Apesar de citar estes parâmetros, o presente código dita que devem ser usadas normas técnicas e resoluções específicas, que ainda não foram editadas.

3.4.3.18 Piauí

Primeiramente, foi publicada a Lei de Segurança Contra Incêndio, Lei nº 2.221/93, aplicada somente na capital Teresina. Posteriormente, a Lei Ordinária Estadual nº 5483/2005, estabeleceu de forma muito abrangente o COSCIP e a competência do Corpo de Bombeiros para expedir pareceres acerca dos sistemas de prevenção e proteção (Leal, 2008). Detém-se muito nas classificações de ocupação e riscos, assim como nos procedimentos de fiscalização, infrações e penalidades (multas).

Como o Estado do Piauí possui sede dos bombeiros com setor técnico em apenas quatro municípios, foi expedido pela Gerência de Engenharia da corporação, um manual técnico dando as orientações necessárias e conscientizando às prefeituras que exijam dos proprietários o comparecimento no Corpo de Bombeiros para a elaboração do Projeto Técnico.

A compartimentação é apenas citada como medida de segurança, mas as leis e o manual exigem a utilização das NBRs.

3.4.3.19 Rio de Janeiro

Apesar de sofrer algumas modificações para adaptar-se à modernidade, a legislação de segurança contra incêndio (SCI) entrou em vigor através do Decreto nº 897 em 21 de setembro de 1976, regulamentando o Decreto-Lei nº 247/75 onde determina ao Corpo de Bombeiros a competência para regulação sobre assuntos não abrangidos pelo código, sendo elaboradas resoluções técnicas.

O dispositivo legal faz a classificação das edificações pela ocupação, elencando diretamente os sistemas a serem instalados. Alguns detalhamentos sobre a instalação dos sistemas fixos e móveis são abrangidos, as demais discriminações devem ser buscadas em normas internacionais, nacionais e resoluções técnicas.

Não possui até hoje norma sobre compartimentação, é uma exigência arquitetônica a ser vista pelas secretarias de obras municipais, apenas referencia em algumas resoluções de assuntos diversos. Existem a resolução SEDEC nº 125/93 que menciona o afastamento de edificações em um mesmo lote, mas não considera como compartimentação, e a resolução SEDEC nº 279/05 que fixa o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) nas paredes entre unidades autônomas de uma edificação como sendo 60 minutos.

Há também, a Resolução SEDEC nº 300/06, onde trata sobre a instalação de chuveiros automáticos (sprinklers), dizendo que galpões industriais compartimentados em células de 1500 m² não necessitam da instalação do sistema.

3.4.3.20 Rio Grande do Norte

Como dito anteriormente, o Estado do Rio Grande do Norte preocupou-se com a prevenção na mesma época que o Rio de Janeiro, publicando a Lei Estadual nº 4.436, em 9 de dezembro de 1974, regulamentada pelo Decreto nº 6.576, de 3 de janeiro de 1975, o qual instituiu o Código de Segurança e Prevenção contra Incêndio e Pânico, elaborado pelo Corpo de Bombeiros.

Dentro do código em vigor, há especificada a compartimentação da seguinte forma:

- a) horizontal: inclui o isolamento riscos entre unidades autônomas que devem possuir paredes resistentes ao fogo por no mínimo duas horas e com prolongamento até a laje ou um metro acima do telhado. As aberturas separadas por paredes compartimentadoras, devem ter afastamento horizontal de dois metros ou possuírem entre elas uma aba vertical com saliência de 50 cm e extensão de 30 cm acima das vergas, como também resistirem a 90 (noventa) minutos de incêndio. O afastamento entre aberturas em paredes opostas também é de dois metros. Quanto a subsolos não utilizados exclusivamente para estacionamento, a área máxima de compartimentação é de 500 m².
- b) vertical: é exigida na forma de afastamento de 1,40 metros entre vergas e peitoris de pavimentos sucessivos, podendo ser substituída por uma aba horizontal, prolongamento dos entrespisos (lajes), com 80 cm de saliência e resistente às chamas por duas horas. Internamente, o código não especifica sistemas, apenas cita que as aberturas que interligam os pavimentos, como shafts, monta-cargas, escadas e dutos devem ter proteções que impeçam a passagem de calor, gases e fumaça.

3.4.3.21 Rio Grande do Sul

O Estado do Rio Grande do Sul não possui código estadual que trate sobre segurança contra incêndios. O que legaliza a ação do Corpo de Bombeiros é a Lei Estadual nº 10.987/97,

estabelecendo a competência para a exigir a implantação dos sistemas e aprovar o plano de prevenção contra incêndios (PPCI).

No Decreto Estadual 37.380/97, alterado pelo Decreto 38.273/98, o qual estabelece normas de segurança a serem aplicadas, dita de forma abrangente no artigo 15, que compartimentação é um tipo de isolamento de riscos, informando apenas que para riscos grande e médio (definidos pela TSIB-IRB) a parede CF deve ter TRRF de quatro horas e que para risco pequeno esta deve ser de duas horas. Também, o isolamento pode ser realizado por afastamento de cinco metros entre edificações e três metros entre aberturas.

Os Decretos por fim elencam como forma de padronização, a utilização das normas da ABNT, e em casos de lacunas, são aceitas as normas internacionais da NFPA, Fire Offices Comitee (FOC), do Britanic Standard Institute (BSI) e do Deutsche Industrie Normen (DIN).

Existe ainda uma peculiaridade talvez pela superficialidade da normatização estadual, a capital do Estado, Porto Alegre, assim como outros municípios, possui lei própria, sendo que o Corpo de Bombeiros local exige os sistemas de acordo com a Lei Complementar municipal nº 420/98, que regula o código de proteção contra incêndio, discriminando a partir do artigo 40, que o isolamento de riscos pode ser obtido por afastamento entre edificações, compartimentação horizontal e vertical, especificados da seguinte forma:

- a) afastamento entre edificações: deve ser de no mínimo de três metros no mesmo lote ou 1,50 metros da divisa quando houver aberturas;
- b) compartimentação horizontal: para os riscos grande e médio, as paredes CF devem ter TRRF de quatro horas, e para risco pequeno de duas horas. As paredes devem ultrapassar 50 cm acima do telhado ou pode haver um desnível entre telhados de no mínimo três metros. As aberturas na mesma fachada separadas por paredes CF devem distar 1,40 metros ou possuir uma aba vertical de 50 cm de saliência, ou ainda possuindo um recuo de fachada mínimo de 90 cm. Já as aberturas paralelas, perpendiculares ou oblíquas entre si devem ter afastamento de três metros;
- c) compartimentação vertical: deve possuir entrepisso resistente ao fogo por quatro horas. O afastamento entre vergas e peitoris de pavimentos sucessivos deve ser de no mínimo três metros ou deve possuir uma aba horizontal, ou ainda recuo

de fachada de 90 cm. Internamente, os dutos, shafts, poços de elevadores, escadas devem possuir sistemas construtivos ou equipamentos que impeçam a passagem de chamas, calor e fumaça.

Os municípios de Rio Grande, São Borja, Santiago, Giruá, Santo Ângelo, Santa Rosa, Ijuí e Santa Maria também possuem Leis Municipais próprias contendo a compartimentação vertical externa com as exigências similares a da capital gaúcha.

Já nos municípios de Pelotas, Sapucaia do Sul e Novo Hamburgo, que também possuem Leis Municipais sobre SCI, citam o tema compartimentação de forma mais abrangente, dando ênfase a separação interna, mas nada especificando sobre compartimentação vertical externa.

3.4.3.22 Rondônia

Apesar de classificar os riscos conforme a TSIB-IRB, exige a instalação dos sistemas conforme a ocupação, a área e a altura da edificação.

Pelo Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Estado de Rondônia, aprovado pela Lei Estadual nº 858/99 e regulamentado pelo Decreto nº 8987/00, o Corpo de Bombeiros possui competência de licenciamento, fiscalização e execução das normas atinentes à SCIP, contudo não deixa claro se pode criar normas técnicas de implantação dos sistemas convencionais. Apenas consta a autorização de normatizar procedimentos administrativos, bem como casos complexos especiais e incomuns, indicando também a utilização das normas nacionais e internacionais para o preenchimento de lacunas.

O regulamento classifica claramente a proteção estrutural, distinguindo isolamento de riscos através da separação entre edificações, por paredes corta-fogo e pela existência de vias internas, da compartimentação horizontal e vertical. Esclarece tacitamente ainda, que as compartimentações não caracterizam riscos isolados, e sim exigências de proteção a serem cumpridas.

Como separação entre edifícios, são discriminadas as distâncias de quatro a oito metros conforme o risco. Possibilita também, o isolamento de risco através de parede corta-fogo (CF) entre unidades autônomas, devendo ultrapassar em um metro o telhado. Se houver desnível entre dois telhados, este deve ser com parede resistente com altura mínima de um metro, como também o depósito de qualquer material deverá ser afastado um metro da parede CF.

O afastamento lateral entre janelas separadas por parede corta-fogo deve ser de dois metros. A diferenciação está em considerar a possibilidade para isolamento a implantação de uma aba vertical com um metro de comprimento, como prolongamento contínuo da parede; e para compartimentação horizontal é permitida esta saliência vertical com 50 cm de comprimento e 30 cm acima das vergas.

Todas as paredes deverão resistir ao fogo por duas horas, e as aberturas, onde for permitido, deverão suportar 90 minutos.

A compartimentação vertical é expressamente dividida em externa e interna. A externa é realizada pela separação de 1,20 metros entre vergas e peitoris ou aba horizontal saliente 90 cm; e a interna é feita pelo enclausuramento das ligações entre pavimentos (escadas, shafts, monta-cargas, dutos, entre outros), de acordo com as normas vigentes.

3.4.3.23 Roraima

O Código Estadual de Proteção Contra Incêndio e Emergência de Roraima foi instituído pela Lei Complementar Estadual nº 082/04, a qual classifica as edificações pela carga de incêndio, pela ocupação e pelas características construtivas, principalmente área e altura, discriminando as medidas de segurança contra incêndio e pânico a serem adotadas, dentre elas as compartimentações horizontal e vertical, bem como o afastamento entre edificações para o isolamento de risco.

Também, possui minuciosamente explicadas as características técnicas a serem observadas através das NT nº 07/05 e NT nº 09/05, sob os respectivos títulos “separação entre edificações” e “compartimentação vertical e horizontal”, com as mesmas exigências constantes nas normas técnicas do Estado de São Paulo.

3.4.3.24 Santa Catarina

O Estado de Santa Catarina classifica os riscos de suas edificações pelas ocupações a que se destinam, constando na Norma de Segurança Contra Incêndio (NSCI), aprovada pelo Decreto Estadual nº 4.909/94, os sistemas a serem implantados de acordo com a ocupação, a altura e a área construída.

Nos capítulos seguintes da norma, são discriminados os roteiros para dimensionamento dos sistemas de proteção principais (hidrantes, alarme e iluminação) e os especiais (sistemas de

GLP, gases, combustíveis, entre outros), mas não faz menção alguma sobre compartimentação vertical, como também não existe resolução técnica específica.

Há a exigência de paredes corta-fogo em depósitos de indústrias e comércios. A norma especifica os TRRF de acordo com os riscos leve, médio e elevado, sendo exigidos três, quatro e seis horas respectivamente.

Ainda, a resolução nº 028, editada em 1998, discrimina o dimensionamento das espessuras das paredes e os materiais a serem utilizados de acordo com o tempo requerido de resistência ao fogo, alterando as NSCI/94.

Também, a tabela 7 mostra os TRRF exigidos em paredes CF para edificações com mais de um pavimento.

Tabela 7: TRRFs exigidos nas paredes corta-fogo ,conforme o risco, para edificações com mais de um pavimento

RISCOS	2 Pavimentos		3 Pavimentos ou mais		
	1°	2°	1°	2°	3° ou +
Leve	3	3	4	3	3
Médio	4	3	6	4	3
Elevado	6	4	8	6	4

Fonte: Decreto Estadual nº 4.909/2004 – Santa Catarina.

3.4.3.25 São Paulo

O Regulamento de Segurança Contra Incêndio de São Paulo foi aprovado pelo Decreto Estadual nº 46.076/01, o qual delega a competência ao Corpo de Bombeiros para regulamentar as medidas de segurança através das Instruções Técnicas.

A compartimentação é amplamente especificada na IT nº 09/04, onde aborda aspectos especiais como fachadas envidraçadas, expressa todos os elementos construtivos e sistemas possíveis com suas respectivas normas regulamentadoras (NBR), e ainda apresenta uma tabela com exigências de áreas máximas de compartimentação conforme as características e a ocupação da edificação.

A legislação paulista não considera a compartimentação como isolamento de riscos para efeito de dimensionamento diferenciado dos sistemas como unidades independentes, tratando particularmente este assunto na IT nº 07/04 – Separação entre edificações. Nesta instrução, a distância entre fachadas e aberturas depende da localização, das características construtivas e das cargas de incêndio dos prédios.

A compartimentação é um sistema a ser exigido conforme prescrito no Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico.

A IT nº 09/04 não especifica um tempo padrão de resistência ao fogo. Ela estabelece que o TRRF deve cumprir o previsto na IT 08/04 – Segurança estrutural nas edificações.

Em aspectos gerais, a instrução técnica nº 09/04 prevê o que segue:

- a) horizontalmente: está previsto que as paredes separadoras de unidades autônomas devem estender-se até a laje ou um metro acima do telhado, como mostrado na figura 18, também constante na IT nº 07/04. As aberturas separadas por parede corta-fogo deverão ter distância mínima de dois metros entre si, ou um prolongamento da parede com saliência de 90 centímetros, conforme figura 19, não especificando a distância acima das vergas. Os subsolos não utilizados exclusivamente para estacionamento, deverão ter áreas máximas de compartimentação de 750 m²;

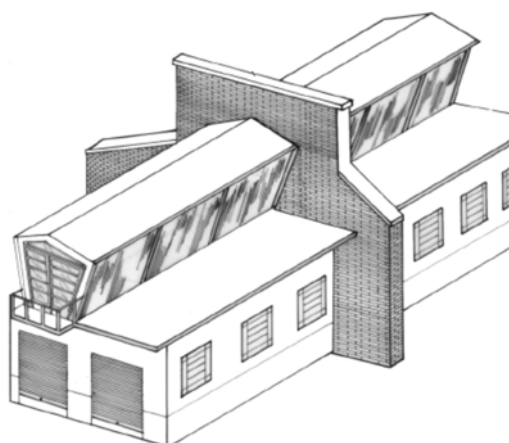


Figura 18: Desenho esquemático do muro de separação entre unidades autônomas (IT nº 07/04 – Corpo de Bombeiros de São Paulo)

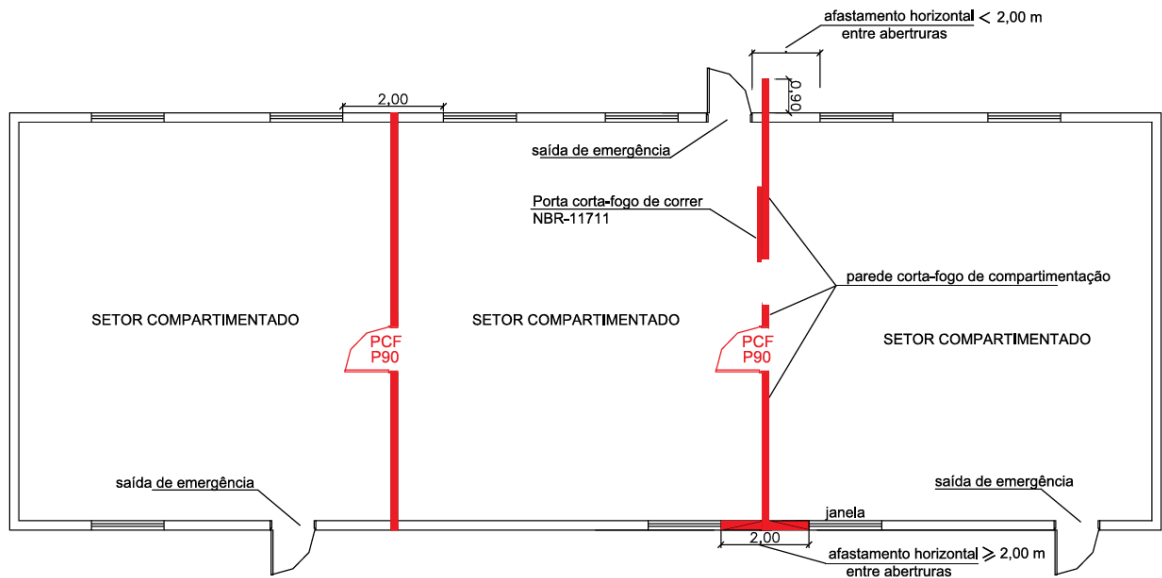


Figura 19: Planta demonstrativa das exigências de compartimentação horizontal (IT n° 09/2004 – Corpo de Bombeiros de São Paulo)

b) verticalmente: A separação de fachadas entre aberturas de pavimentos sucessivos deve ser de 1,20 metros quando esta se constituir de vigas e/ou parapeitos; ou deve possuir um prolongamento (aba) dos entrepisos de 90 cm, com as mesmas características de resistência ao fogo, conforme figura 20. Os demais elementos construtivos e sistemas para compartimentação interna (selos, vedadores, registros corta-fogo, entre outros) são especificados em normas e instruções técnicas específicas, indicadas minuciosamente.

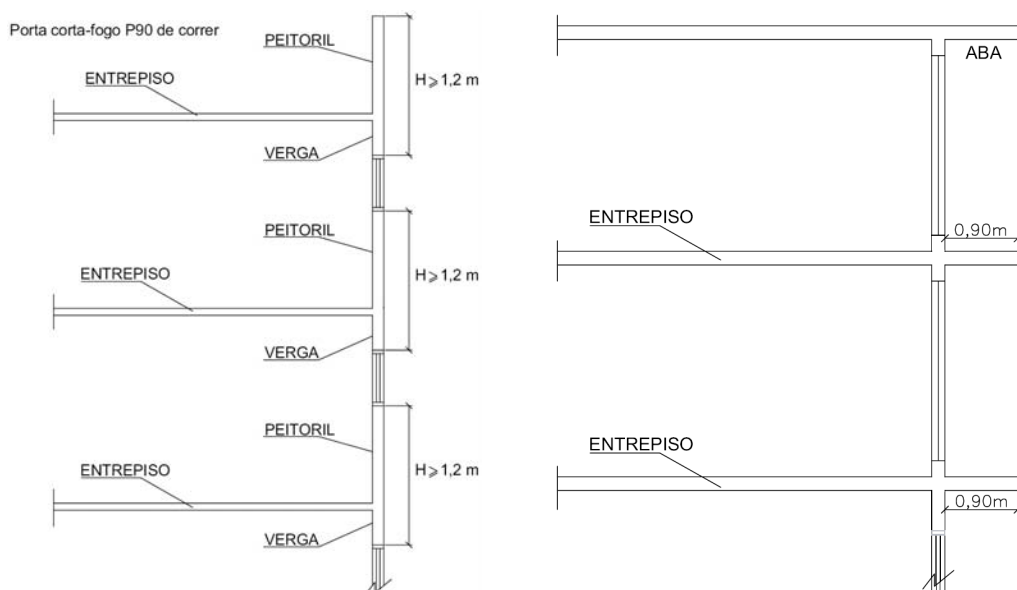


Figura 20: Corte demonstrativo das exigências de compartimentação vertical (IT n° 09/2004 – Corpo de Bombeiros de São Paulo)

3.4.3.26 Sergipe

O código do Estado de Sergipe foi lançado em 2000, e apesar de não regulamentado, é exigido fundamentado na Lei Estadual nº 4.183, de 22 de dezembro de 1999.

No que diz respeito à classificação e discriminação de alguns sistemas fixos e móveis, o Código utiliza os parâmetros da Lei de Segurança Contra incêndio do Estado do Rio de Janeiro, o qual elenca as edificações por ocupação e distingue os sistemas a serem instalados conforme as características. As lacunas devem ser preenchidas pelas normas nacionais e internacionais consagradas.

Não é claramente específico sobre compartimentação, e sim, apresenta o capítulo XIII, baseado na norma de segurança contra incêndio do Estado de Santa Catarina, no qual constam exigências de resistência das paredes e aberturas corta-fogo, a serem instaladas conforme discriminação do código dependendo das características da edificação. Também, permite a utilização da fórmula de Rondelet, expressa na equação (10), para dimensionar a espessura da parede corta-fogo para o tempo previsto.

$$e = \frac{L}{\sqrt{L^2 + h^2}} \times \frac{h}{8} \quad (10)$$

Onde:

e: espessura da parede

L: largura da parede

h: altura da parede

Salienta-se que é considerada resistente até 4 horas a parede com 25 cm de espessura, e até 8 horas se tiver 35 cm.

3.4.3.27 Tocantins

Foi aprovada recentemente, em 15 de maio de 2007, a Lei Estadual nº 1.787, que delega a competência das exigências dos sistemas de SCIP ao Corpo de Bombeiros, padronizando as instalações por meio da expedição de normas técnicas. Aos moldes de São Paulo, a classificação dos riscos é determinada pela carga de incêndio da edificação, assim como o

isolamento de riscos por afastamento entre edificações é considerada distintamente da compartimentação, possuindo discriminação específica na NT nº 005/2007/DISTEC. As compartimentações horizontais e verticais estão bem especificadas na NT nº 007/2007/DISTEC, com similaridade ao Estado de São Paulo, exceto para o prolongamento do entrepiso da compartimentação vertical externa que deve ser de um metro.

3.5 RESUMO DAS EXIGÊNCIAS DA COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EXTERNA NO BRASIL

A partir das informações abstraídas das leis e códigos de segurança dos Estados brasileiros, verifica-se uma variabilidade de exigências quanto às características construtivas do sistema de compartimentação vertical externa, não sendo apresentadas em nenhum destes, referências normativas ou científicas que comprovem a eficiência dos métodos a serem empregados.

Também, metade dos Estados não exigem este sistema ou não discriminam expressamente os detalhes da compartimentação vertical externa a serem seguidos, apenas citam-no como medida de proteção estrutural a ser utilizada, para isolamento de risco e para a exigência de instalação de chuveiros automáticos, sistema de alarme e detecção e escadas pressurizadas, ou ainda, remetem ao cumprimento das normas nacionais da ABNT, as quais não existem.

Os gráficos a seguir, apresentados nas figuras 21 e 22, mostram esta variabilidade de exigências, primeiramente pelo afastamento entre aberturas verticais de pavimentos sucessivos, e no segundo, pelo comprimento do prolongamento do entrepiso.

Salienta-se que o Estado do Rio Grande do Sul consta entre as unidades federativas que não exigem a compartimentação vertical externa, pois destina os detalhes aos ditames das normas da ABNT. Todavia, como existe a peculiaridade de alguns municípios legislarem, são consideradas estas informações nos gráficos de forma unitária.

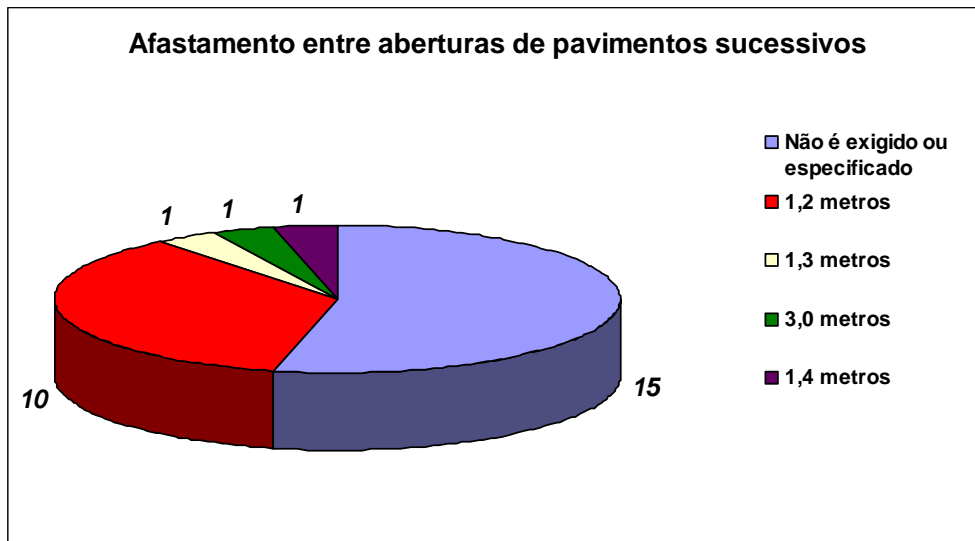


Figura 21: Gráfico demonstrativo das exigências de afastamento entre aberturas de pavimentos sucessivos.

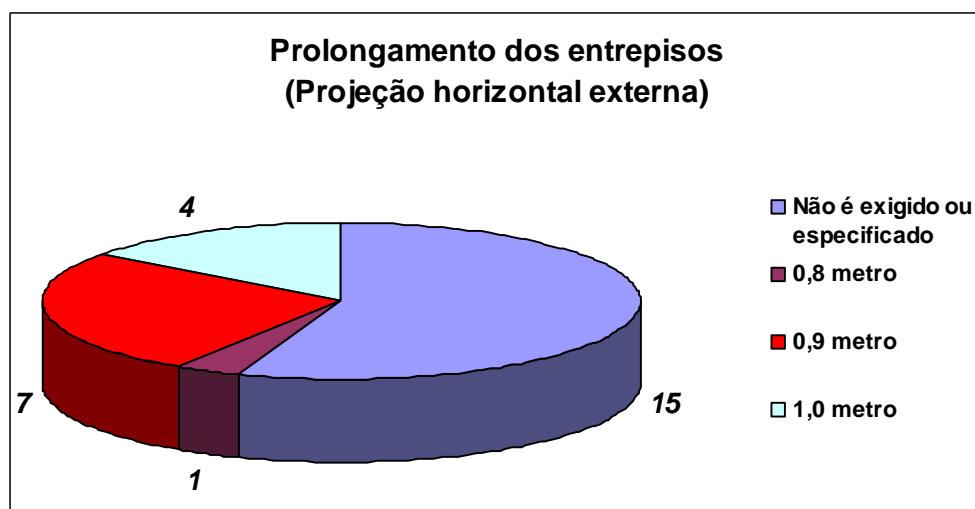


Figura 22: Gráfico demonstrativo das exigências no comprimento do prolongamento dos entrepisos.

4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIO - FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS)

4.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Realizar testes práticos para a produção do conhecimento científico acerca da dinâmica do fogo e o seu desenvolvimento durante o incêndio torna-se muitas vezes difícil e dispendioso devido às grandes dimensões dos compartimentos a serem analisados, os equipamentos e medidores utilizados muitas vezes são destruídos durante os ensaios, bem como os parâmetros devem ser bem definidos para garantirem a sua reprodutibilidade, ou seja, se existirem erros de dimensionamentos, todo o trabalho deve ser reiniciado.

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, o movimento da fumaça ou ainda a concentração dos gases, para que o ensaios sejam dimensionados proporcionalmente e realizados apenas o número de vezes necessárias, sem gastos excessivos.

Para realizarem esses estudos, existem diversos institutos tecnológicos e de ensino que investem na elucidação da dinâmica do incêndio, desenvolvendo seus testes práticos em compartimentos e edificações construídas com o propósito de criarem cenários reais, tais como escritórios e residências, para padronizadamente incendiá-los e cientificamente estudá-los. Dentre estes institutos, existe o *National Institute of Standards and Technology* (NIST), órgão norte-americano fundado em 1901.

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 laboratório referência com intensa participação na elaboração de códigos e normas (Carlo, 2008).

Com o avanço tecnológico, surgiram ferramentas que possibilitaram fornecer uma noção do provável comportamento do incêndio, antes de realizarem-se os ensaios práticos. Dentre estas ferramentas, existem os modelos computacionais para simulação de incêndio, destacando-se o *Fire Dynamics Simulator*, desenvolvido pelo NIST.

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).

A primeira versão foi desenvolvida em 2000, sendo editada a 5ª versão em outubro de 2007. Sua grande aceitação faz com que esta ferramenta seja utilizada em investigações de incêndios reais, como será visto subsequentemente, auxiliando os pesquisadores e peritos na elucidação das causas dos sinistros.

Este software é governado pelas equações da dinâmica dos fluídos 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).

4.2. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMENTO DO FDS

Antes do FDS, o primeiro método a ser analisado foi o de duas camadas, onde o compartimento era dividido em dois volumes espaciais homogêneos, com uma camada superior quente e uma inferior fria. Balanço de massa e energia são aplicados em cada camada, com modelos adicionais descrevendo outros processos físicos através de equações diferenciais e algébricas adequadas (McGrattan *et al*, 2008). Este programa também foi desenvolvido pelo NIST, e denominado CFAST, conforme mostrado esquematicamente na figura 23. Ele permite o cálculo de distribuição de fumaça, bem como altura da camada de fumaça e a sua temperatura por meio dos compartimentos de uma edificação durante um incêndio (Jones *et al.*, 2005 *apud* Braga e Landim, 2008).

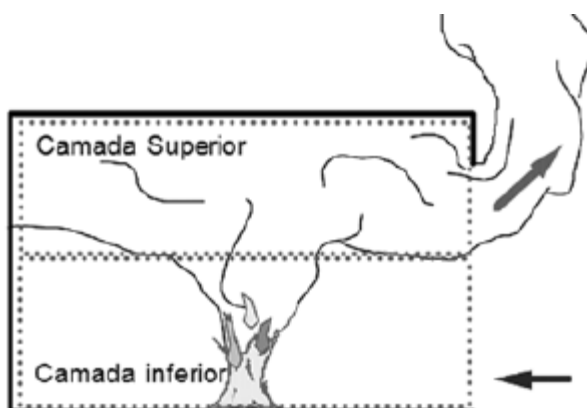


Figura 23: Esquema demonstrativo do modelo computacional de duas camadas (Forney, 2005 *apud* Braga e Landim, 2008).

Com o desenvolvimento tecnológico, atualmente, são utilizados modelos computacionais onde os compartimentos são divididos em células, formando uma grade que delimita a área de cálculo, e as equações utilizadas são resolvidas para cada célula, fornecendo todos os dados separadamente e unindo-os de maneira uniforme, modificando-os no decorrer do tempo. A precisão da dinâmica do incêndio depende do número de células incorporadas à simulação. Este modelo é adotado pelo FDS 5, mostrado na figura 24.

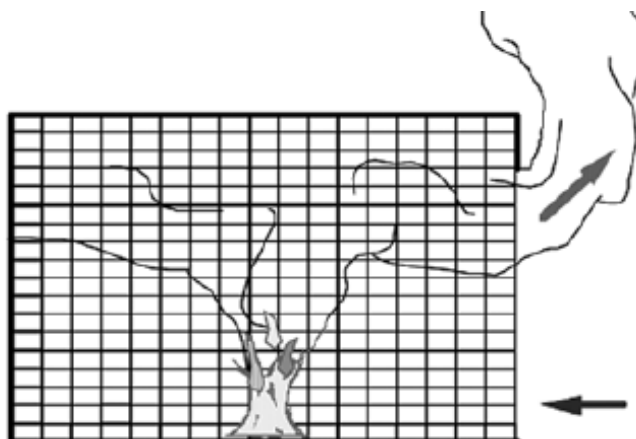


Figura 24: Esquema demonstrativo do modelo computacional por células (Forney, 2005 *apud* Braga e Landim, 2008).

Esse tipo de programa permite que sejam avaliadas a dinâmica de um incêndio e o movimento da fumaça por meio de informações sobre temperatura, densidade, pressão, velocidade e composição química em cada célula (McGrattan *et al*, 2006 *apud* Braga e Landim, 2008).

O Fire Dynamics Simulator foi desenvolvido cumprindo o que prescreve a norma ASTM E 1355/05 – *Evaluating the Predictive Capability of Deterministic Fire Models*, a qual objetiva

fornecer uma metodologia para avaliar a eficiência destes modelos na simulação de incêndios dentro dos ambientes e nas estruturas.

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).

Suas maiores limitações são a sua utilização exclusiva em combustões de baixa velocidade, apropriada a um incêndio não advindo de explosão por exemplo, bem como a eficiência e rapidez do FDS está na geometria de todos os seus elementos, permitindo somente quadrados e retângulos. Contudo, isto pode ser uma limitação conforme as características da construção a ser analisada, mas o software possui representações não regulares para produzir bons resultados.

No desenvolvimento, as diferenciais parciais das equações de conservação de massa, energia e momento são aproximadas como diferenças finitas, e a solução é dada em função do tempo nas três dimensões da grade (McGrattan *et al*, 2008).

As principais equações utilizadas e combinadas são as correspondentes à conservação de massa, conservação de momento (segunda Lei de Newton), conservação de energia (1ª Lei da termodinâmica) e equação de estado para gases ideais.

Embora todo o embasamento físico e matemático das leis de conservação que governam a transferência de calor, dinâmica de fluidos e combustão já serem conhecidas há mais de um século, foi apenas recentemente que o modelamento numérico de incêndio começou a ser possível (Braga e Landim *et al*, 2008).

Para que se possa analisar com mais facilidade os resultados obtidos no modelamento numérico, foi criado por Glenn Forney, pesquisador do NIST, e incluído no “pacote” do FDS 5, o software *Smokeview*, o qual produz imagens e animações destes resultados, adicionado para dar a habilidade de visualização tridimensional do fogo e da fumaça de maneira mais realística possível.

4.3. OBJETIVOS DO FIRE DYNAMICS SIMULATOR

Segundo 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 e Landim, 2008).

Para que o FDS realize os cálculos, alguns dados devem ser inseridos (*input*), dentre eles, o número de células que compõem a grade, os fatores ambientais (área de ventilação, direção e intensidade do vento), a geometria da edificação, as propriedades dos materiais a serem encontradas em manuais, literatura científica ou através de ensaios em escala real (condutividade térmica, calor específico, densidade, espessura, ponto de fulgor, entre outros), a taxa de calor e os resultados que desejam ser obtidos (temperatura, pressão, etc.).

Os resultados dos modelamentos (*output*), são apresentados visualmente no *Smokeview*. Para a fase gasosa podem ser determinados a densidade, a velocidade, a temperatura, a taxa ar/gases tóxicos, a concentração de alguns gases (vapor d'água, CO₂, CO, N₂), a taxa de calor e a perda de água por unidade de volume. Na fase sólida, podem ser abstraídas as temperaturas superficiais e internas, o fluxo de calor, a taxa de queima, pirólise, taxa de perda de água por unidade de área. E para todo o ambiente do compartimento pode-se obter a pressão, a taxa total de calor liberado e o fluxo de massa e energia através das aberturas ou sólidos.

4.4. ESTUDOS GERAIS REALIZADOS UTILIZANDO O FDS

Nos Estados Unidos da América, o FDS tem sido uma potencial ferramenta para a investigação dos incêndios, com vistas à elucidação das causas e consequente indicação de autoria. Desde 1999, ele vem sendo utilizado em alguns casos de grande repercussão nos Estados Unidos para avaliar a dinâmica do incêndio, como nos ocorridos em Cherry Road/DC, que vitimou dois bombeiros (Madrzykowski e Vettori, 1999 *apud* Braga e Landim, 2008) e na boate Station Nightclub, na qual mais de cem pessoas morreram e duzentos ficaram feridas (Grosshandlberg *et al.*, 2005 *apud* Braga e Landim, 2008).

Chow *et al* (2007) realizou uma investigação de cenário de um incêndio em um átrio de um shopping varejista, realizando experimentos em escala real na *University of Science and Technology of China* (USTC), propondo um modelamento numérico, e comparando-os com o CFAST e com o FDS. Durante os estudos, pode-se concluir que o FDS geralmente estava de acordo com o experimento real, com resultados similares, como mostrado nas figuras 25 e 26, dentre tantos ensaios, o gráfico comparativo temperatura média x altura e temperatura média da fumaça x tempo.

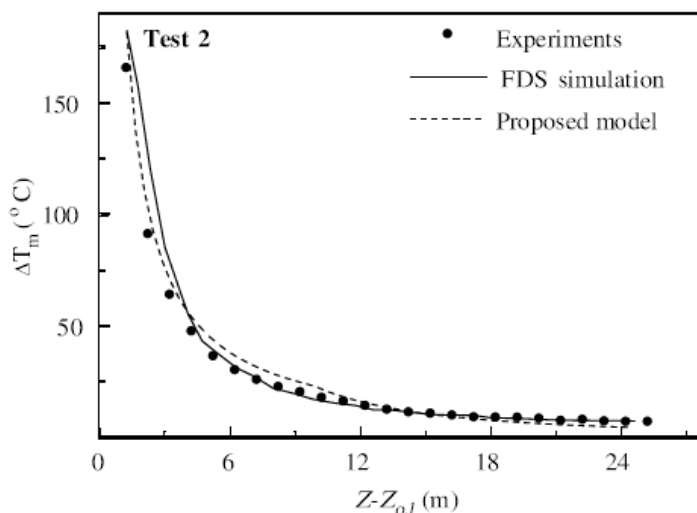


Figura 25: Gráfico comparativo temperatura média x altura do átrio com tempo entre 280 e 330 s (Chow *et. al*, 2007)

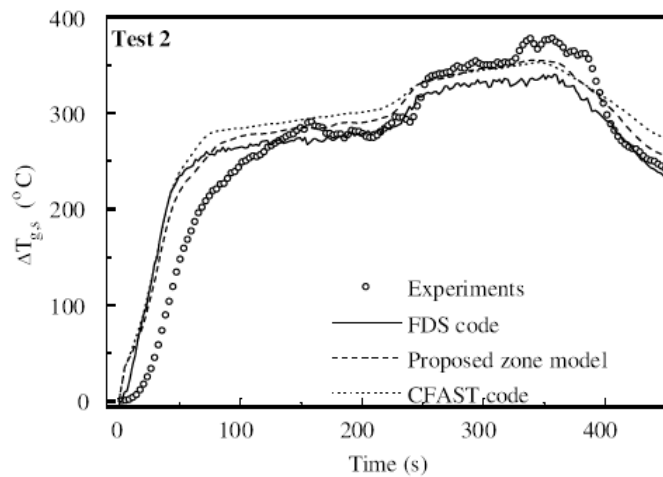


Figura 26: Gráfico comparativo temperatura média da fumaça x tempo (Chow *et. al.*, 2007)

Ryder *et al.* (2006) realizou simulações com o FDS para verificar os níveis de contaminação pela fumaça durante e após um incêndio em ambiente confinado, comparando com resultados reais mensurados, sendo analisadas a taxa de produção dos contaminantes e sua trajetória conforme as condições de ventilação. O pesquisador concluiu que a indicação do FDS é muito boa para uma primeira aproximação dos níveis medidos de contaminação, fornecendo uma boa fundamentação para trabalhos futuros, bem como a aplicação do software pode fornecer uma otimização de custo e tempo de avaliação destes níveis. As figuras 27 e 28 mostram um comparativo entre os níveis de contaminação real e modelado numericamente por hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) realizado em zonas subdivididas de um compartimento.

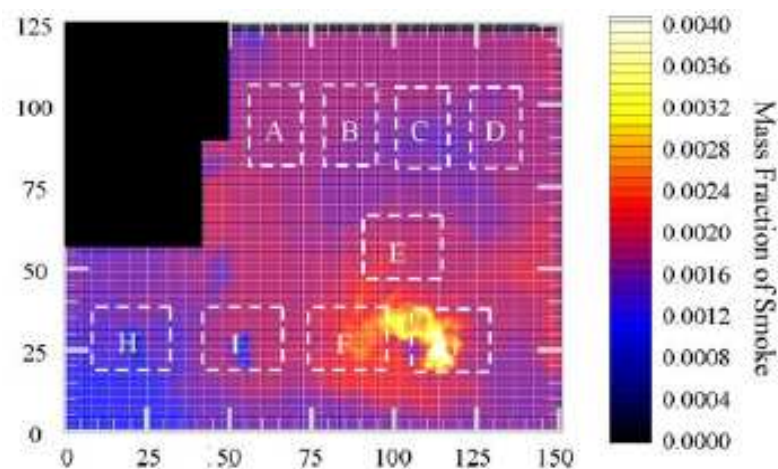


Figura 27: Distribuição da concentração de fumaça realizado pelo FDS, mostrando as zonas analisadas (Ryder *et. al.*, 2006)

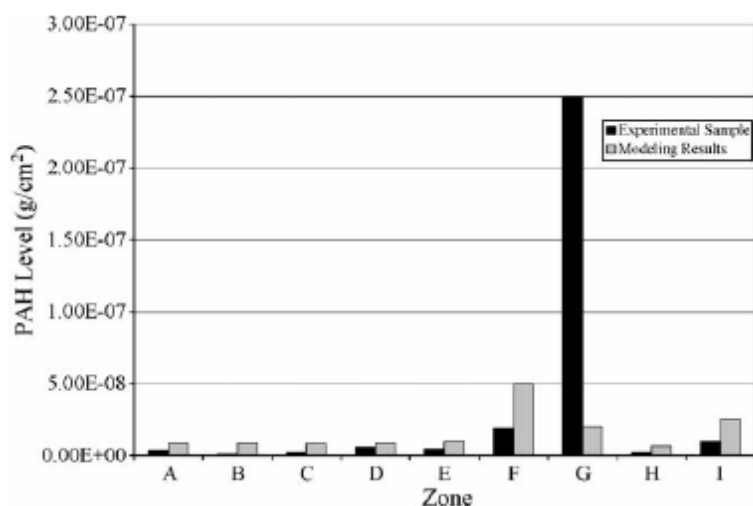


Figura 28: Gráfico comparativo entre os níveis de contaminação reais e simulados pelo FDS (Ryder *et. al*, 2006)

Também, Cheng *et al.* (2004), realizou simulações com o FDS para verificar o comportamento dos materiais de construção mais utilizados nas residências tailandesas, com o objetivo de referenciar os materiais mais resistentes e “personalizar” a evacuação de acordo com *designs* apropriados.

Ainda, Prasad e Baum (2005), pesquisadores do NIST, elaboraram um estudo sobre a dinâmica do incêndio e a resposta térmica de estruturas complexas, onde foram aliados os fenômenos de transferência de calor dos incêndios com o comportamento das estruturas. Foi analisado o colapso da estrutura idealizando um andar inteiro de uma das torres do *World Trade Center* (WTC).

Primeiramente, utilizando o FDS, foram simuladas as variações das temperaturas no 96º andar do prédio nos instantes iniciais após o choque do avião, bem como o fluxo de calor no interior dos elementos estruturais de uma seção do andar, conforme figura 29. Após, através de modelos de elementos finitos, os pesquisadores analisaram a resposta daquela seção estrutural, tentando reproduzir os resultados para o andar inteiro, de acordo com as figura 30. Foi concluído que este método é uma excelente aproximação para estudos da relação térmica com a resposta estrutural ao incêndio.

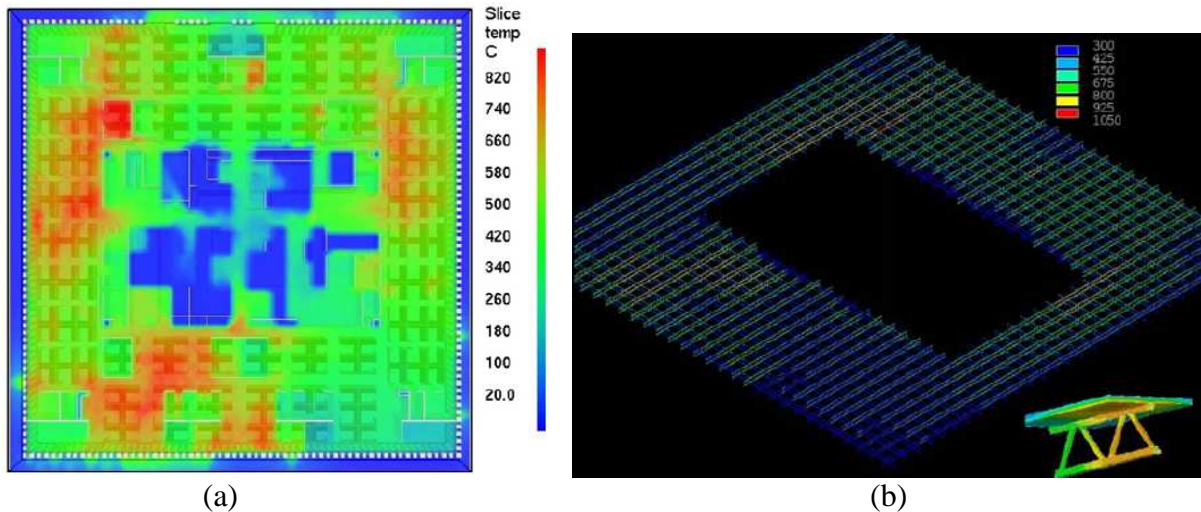


Figura 29: Distribuição das temperaturas em todo o 96° andar (a), em °C, e na respectiva estrutura (b), em Kelvin, nos primeiros 1000 s após a colisão do avião (Prasad e Baum, 2005)

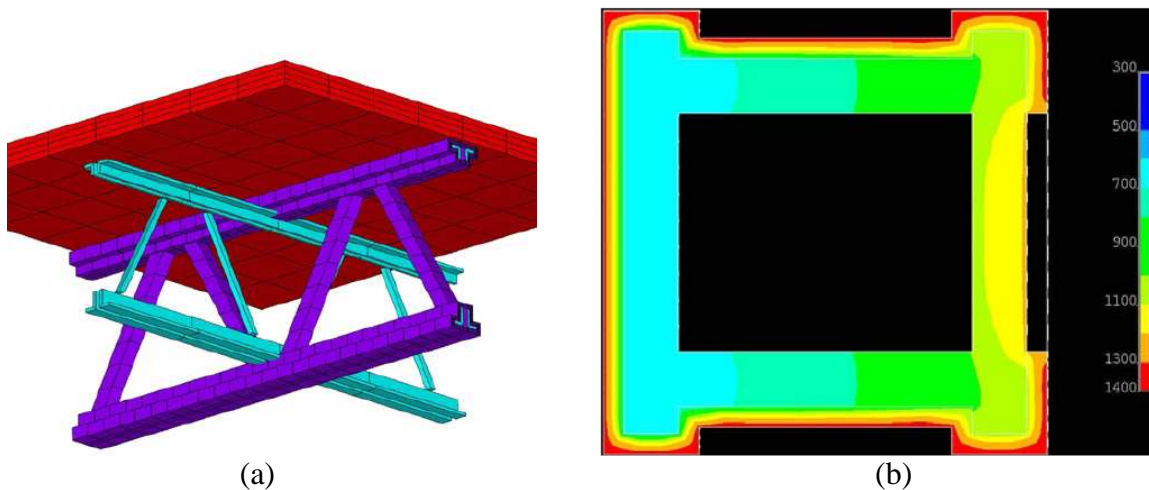


Figura 30: Representação do modelo de elementos finitos para uma seção da estrutura do 96° andar do WTC (a), e a distribuição das temperaturas no interior de um pilar da edificação simulado pelo FDS (b) (Prasad e Baum, 2005).

No Brasil, o FDS está começando a ser utilizado pioneiramente pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal como ferramenta de auxílio à perícia de incêndio, buscando a zona de origem e o foco inicial através do estudo da propagação do fogo e de seus produtos.

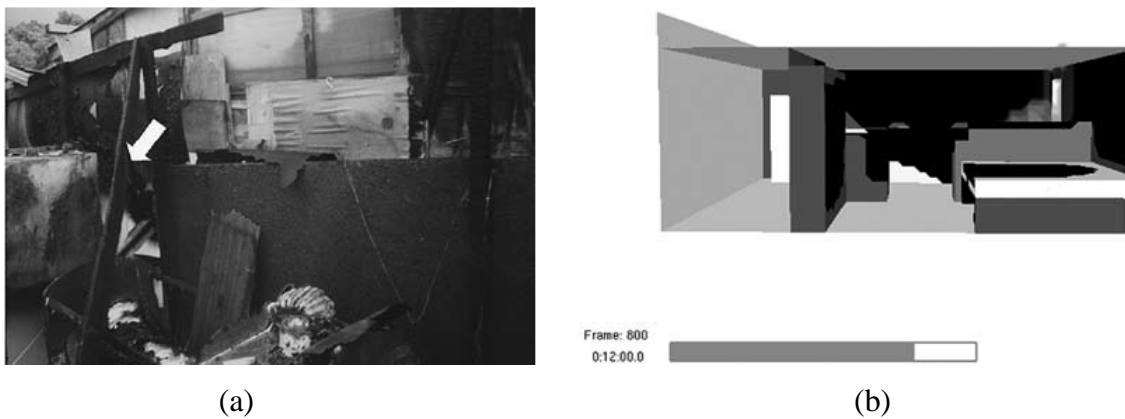
Como exemplo, no laudo pericial nº 001/2007 daquela corporação, consta uma análise realizada utilizando o FDS para elucidar a origem do incêndio em uma residência que feriu uma pessoa e vitimou fatalmente duas crianças. Braga e Landim (2008) também referenciam

esta ocorrência de incêndio. O cenário inicial foi reconstituído através de informações de testemunhas e de bombeiros, conforme figura 31, onde foram realizadas simulações dos prováveis locais de ignição de acordo com os vestígios encontrados no local.



Figura 31: Cenário reconstituído com o FDS antes do início do incêndio (Braga e Landim, 2008)

Segundo Braga e Landim (2008), as marcas de queima apresentadas no incêndio real ficaram extremamente próximas às marcas verificadas durante a simulação com o FDS, cuja fonte de ignição estava próxima ao berço das crianças, como mostrado na figura 32, corroborando com os demais indicadores coletados.



Figuras 32: Apresentação das marcas de queima (a) coincidentes com o modelo computacional desenvolvido pelo FDS (b) (Braga e Landim, 2008).

5 ESTUDOS REALIZADOS SOBRE A DINÂMICA DO INCÊNDIO ATRAVÉS DAS ABERTURAS EXTERNAS

Os estudos sobre o comportamento das chamas ao serem ejetadas pela janela do compartimento ao exterior da edificação, ou pluma, e o risco inerente à propagação do incêndio aos andares acima consecutivos, começaram na década de 60 através de ensaios executados em escala real. Atualmente, foram desenvolvidos métodos de ensaios em escalas reduzidas, ainda não padronizados, mas realizados em instituições de pesquisa que possuem credibilidade, bem como concordantes entre si.

Entende-se por pluma a coluna ascendente de chamas e produtos da combustão advindas logo acima do combustível (Bonitese, 2007).

Yokoi (1960) *apud* Huang *et al* (2008) investigou a trajetória e a distribuição das temperaturas das chamas externas à uma janela em diversos ensaios de incêndio em escala real, propondo um método estimativo das chamas externas usando uma temperatura adimensional, bem como Yamaguchi e Tanaka (2005) *apud* Huang *et al* (2008) descobriram que este método não depende do tamanho e temperatura do incêndio, e sim das condições geométricas. Também, os experimentos em escala real e reduzida de Yokoi e Yamaguchi elucidaram que as temperaturas das chamas independem da proporção do modelo utilizado, podendo os resultados serem usados para preverem a pluma externa do incêndio em escala real.

Ainda, 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 atinge 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. Salienta então, que os prédios residenciais, que geralmente apresentam as primeiras características, possuem maior segurança quanto à propagação externa do que edificações comerciais, como mostrado esquematicamente na figura 33.



Figura 33: Desenho esquemático do comportamento das chamas conforme a geometria das aberturas, conforme proposto pelo *Experimental Building Station apud Rosso (1975)*.

Thomaz e Law (1972) *apud Drysdale (1998)* utilizando os dados de diversos pesquisadores, os quais foram correlacionados em análise dimensional da projeção da pluma, obtiveram expressões aproximadas para estimarem o tamanho da chama ejetada pela janela durante a queima de madeira e na ausência de vento, conforme ilustrado na figura 34 e equações (11) e (12).

$$Z+H = 12,8 (m/B)^{2/3} \quad (11)$$

$$x/H = 0,454/n^{0,53} \quad (12)$$

Sendo:

H,B - a altura e largura da abertura respectivamente (m);

Z - a altura da chama a partir da parte superior da abertura (m);

m - a taxa de queima (kg/s);

x - a distância horizontal de afastamento do ápice da chama à fachada (m);

n - é o fator da geometria da abertura, dado por $2B/H$.

Ainda, Law e O’Brein (1981) apud Drysdale (1998) introduziram aos dados anteriores, recomendações sobre a definição da taxa de queima, apresentando a equação (13):

$$m = M/1200 \text{ (kg/s)} \quad (13)$$

Onde M é a carga de incêndio em equivalência de madeira, adotada para a queima livre de 20 minutos, justamente por ser o tempo de desenvolvimento da maioria dos incêndios.

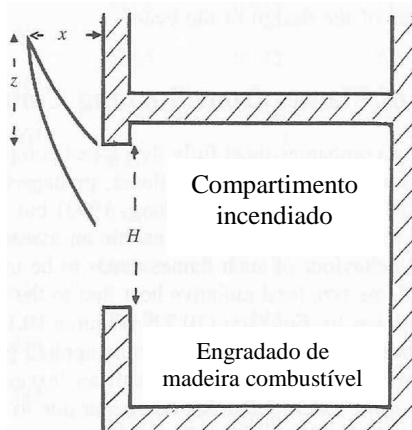


Figura 34: Desenho esquemático apresentado por Thomaz e Law (1972) apud Drysdale (1998) para dimensionamento da extensão da chama ejetada por uma abertura.

Osleszkiewics e Yung (1988), do *National Research Council Canada*, realizaram testes em escala real para entenderem os mecanismos de propagação do fogo através das janelas. Foram construídos três compartimentos totalizando 6 metros de altura, e o combustível utilizado era a madeira pinus de seção 50x50 mm devidamente empilhada. Distanciada 1,8 metros, havia uma “parede-alvo” para verificarem os efeitos da radiação, bem como foi colocada uma projeção horizontal de 1,2 metros acima da janela, como prolongamento do entrepiso, e depois projeções verticais de 2,4 metros nas laterais, para visualizarem o comportamento do fogo e dos gases quentes, como mostra a figura 35. Concluíram que a projeção horizontal oferece uma substancial proteção para a parede acima. Por outro lado, as projeções verticais canalizaram o fluxo de calor aumentando a intensidade.

Afirmaram que as temperaturas chegaram a 750°C, acima da temperatura média para o *flashover* (600°C), e a “parede-alvo” foi assolada por uma taxa de calor de 12 kW/m², que poderia ignir alguns objetos próximos. Ainda, verificaram que o emprego de vidros aramados reduziram bastante o fluxo de calor para a “parede-alvo”.

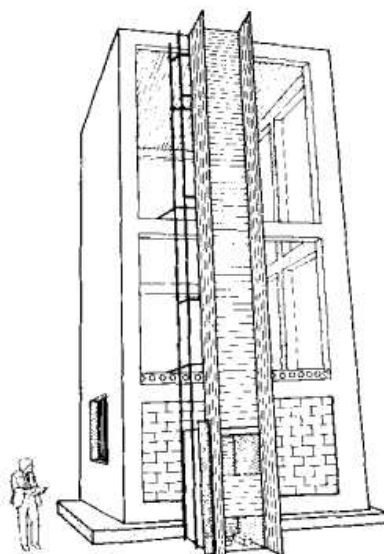


Figura 35: Desenho do modelo construído para ensaios em escala real por Osleszkiewics e Yung (1988).

Osleszkiewics (1990) *apud* Mammoser e Battaglia (2004) experimentalmente verificou que janelas retangulares, mais largas, permitem maior exposição das chamas ao longo da parede superior, pois os gases quentes saem com baixa velocidade rente à parede, enquanto janelas relativamente quadradas afastam as chamas da parede pelo efeito inverso. Os resultados foram confirmados por Galea *et al* (1996).

Galea *et al* (1996) *apud* Chen *et al* (2006) utilizaram um modelo comercial de CFD, denominado FLOW3D para experimentar os efeitos da geometria das janelas e das projeções horizontais. Eles modelaram um prédio de oito andares, onde havia uma fonte de calor de 1MW colocado no terceiro pavimento. Do experimento, foram observados que uma aba horizontal de um metro de extensão afastava as chamas da parede, por um curto mas significativo tempo, e a temperatura da parede decrescia bastante.

Kwok *et al* (2000) realizaram simulações computacionais com um software de dinâmica dos fluídos (CFD) apropriado à propagação do incêndio, utilizando diferentes configurações de janelas. Eles concluíram que a dinâmica do incêndio é influenciada pela localização e configuração das aberturas, o perfil da fachada, a carga de incêndio e a localização do fogo.

Também, Kwok *et al* (2000) perceberam que no caso de janelas retangulares, eram atingidas as máximas temperaturas na parede da fachada externa acima da abertura, pois a fumaça ascendia próximo à parede.

Suzuki *et al* (2003) *apud* Mammoser e Battaglia (2004), realizaram um experimento construindo um prédio em escala 1/7, com sete pavimentos, colocando queimadores de gás no segundo andar, onde havia apenas uma abertura no respectivo compartimento, conforme modelo da figura 36. Em todos os níveis foram colocadas projeções horizontais ao longo da fachada. Para verificar a interação entre a saliência e o tamanho da chama, a fim de adequar um detalhamento mais seguro, foram variadas as taxas de calor (carga de incêndio) e a profundidade das saliências, entre 10 e 25 cm.

Deste estudo, concluiu-se então que: com o aumento da projeção, aumenta a temperatura do compartimento incendiado, causando o *flashover* mais rápido; a chama aproxima-se da parede externa quando a saliência é menor, ou seja, a projeção afasta o fogo e o calor da fachada; a distância horizontal da chama, no momento em que sai pela janela, independe do tamanho da saliência; e a distância vertical da chama a partir da projeção horizontal do pavimento superior ao incendiado, decresce à medida em que aumenta tal projeção.

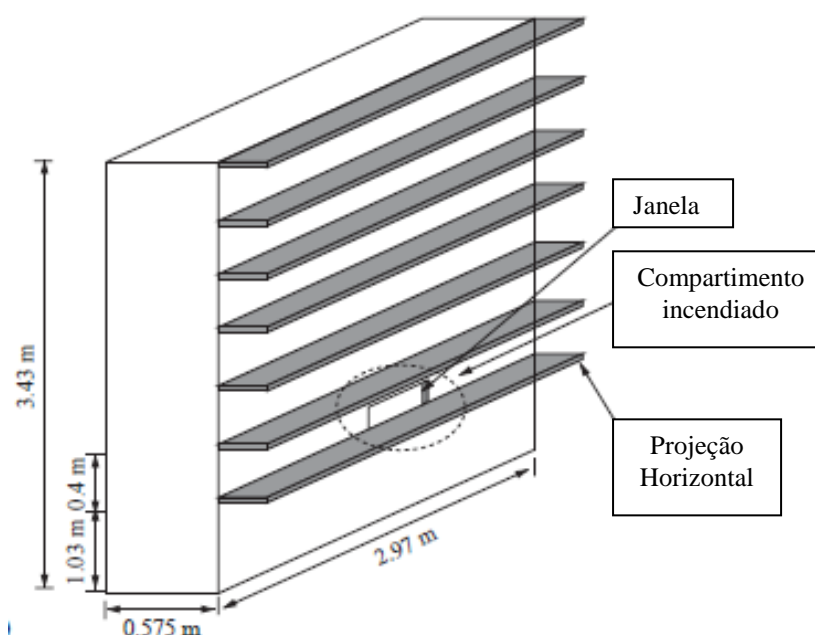


Figura 36: Modelo em escala reduzida proposto por Suzuki *et al* (2003) *apud* Mammoser e Battaglia (2004).

Ainda, no *Research Council of Canada*, Osleszkiewics (1991) *apud* Mammoser e Battaglia (2004) verificou os efeitos das projeções horizontais acima das janelas, mostrando que o fluxo de calor na parede acima da aba externa diminuiu 90%.

Mammerer e Battaglia (2004), de posse dos dados experimentais de Suzuki *et al.* (2003), realizaram ensaios simulados utilizando o FDS, com características semelhantes de carga de incêndio e comprimento da saliência, os quais serão explanados detalhadamente a seguir. Ao final concluíram genericamente que o simulador computacional convergiu com as pesquisas de campo, evidenciando que o aumento da projeção horizontal afasta as chamas da fachada reduzindo o fluxo de calor e retardando a propagação.

No entanto, primeiramente, os pesquisadores confirmaram numericamente que três pavimentos são a quantidade mínima para a realização de simulações que condizam com o experimento em escala real, com economia de tempo e equipamentos, fornecendo os mesmos resultados que quatro ou mais andares. Os compartimentos foram desenhados em semelhança aos ensaios de Suzuki *et al.* (2003), como mostrado na figura 37, onde FF é designado como o compartimento incendiado, FF+1 e FF+2 são os pavimentos sucessivos.

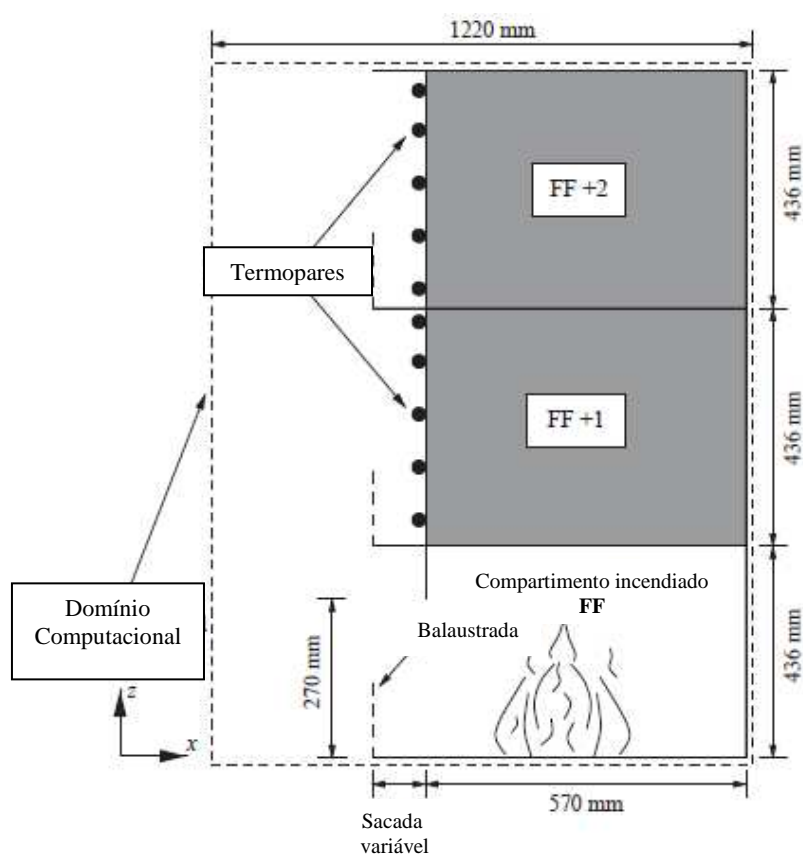


Figura 37: Modelo em FDS proposto por Mammoser e Battaglia (2004).

O mais importante, foi a oportuna utilização das leis de escala desenvolvidas por Byram (1966), as quais foram ratificadas por Mammoser e Battaglia (2004), pois as taxas de calor e

as temperaturas apresentaram o mesmo comportamento das simulações comparativas em escala real, propiciando economia financeira e computacional. A equação (14), apresentada a seguir, também foi utilizada por Hayashi *et al.* (2003) em seus experimentos em escala reduzida utilizando um túnel de vento:

$$\frac{L_m}{L_f} = \left(\frac{Q_m}{Q_f} \right)^{2/5} \quad (14)$$

Onde L_m e L_f são os comprimentos das chamas ejetadas pela janela em escala reduzida e escala real respectivamente, ou seja, são as relações diretas de redução, utilizadas também para redução das dimensões de um compartimento; Q_m e Q_f são respectivamente as cargas de incêndio utilizadas em escala reduzida e real. Os resultados são mostrados na figura 38.

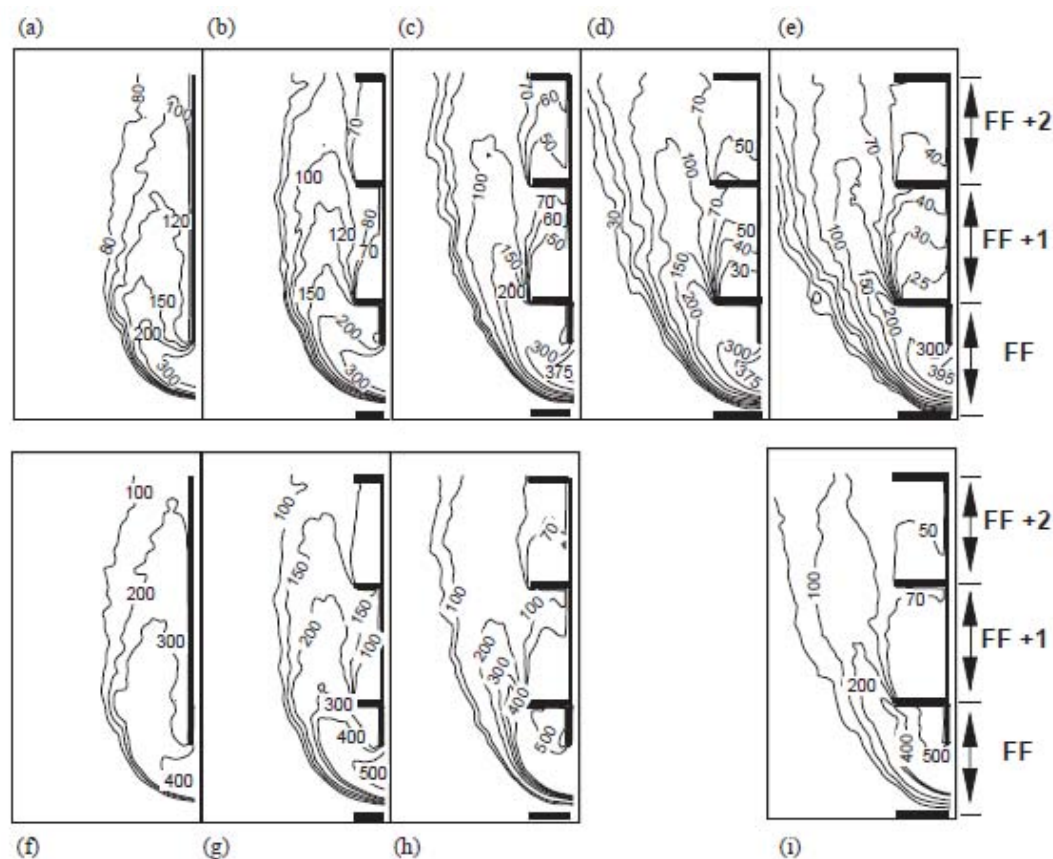


Figura 38: Simulações realizadas por Mammoser e Battaglia (2004), mostrando a dinâmica do incêndio e as temperaturas com saliências de 0 cm (a), 10 cm (b), 15 cm (c), 17,5 cm (d) e 20 cm (e). Abaixo, resultados comparativos de Suzuki *et al* (2003), com as mesmos comprimentos das saliências (f até i).

As simulações foram realizadas com diferentes comprimentos de saliência, em escala 1:7, comprovando que projeções maiores do que 1,05 metros reduzem significativamente as temperaturas, mas a partir de 1,22 metros as chamas são completamente afastadas da parede externa.

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 sacadas e quais configurações destas preveniria tal propagação. Os compartimentos foram elaborados em semelhança com os experimentos de Mammoser e Battaglia (2004), com sacadas apresentando 84 cm de profundidade para comparações posteriores, como mostra a figura 39.

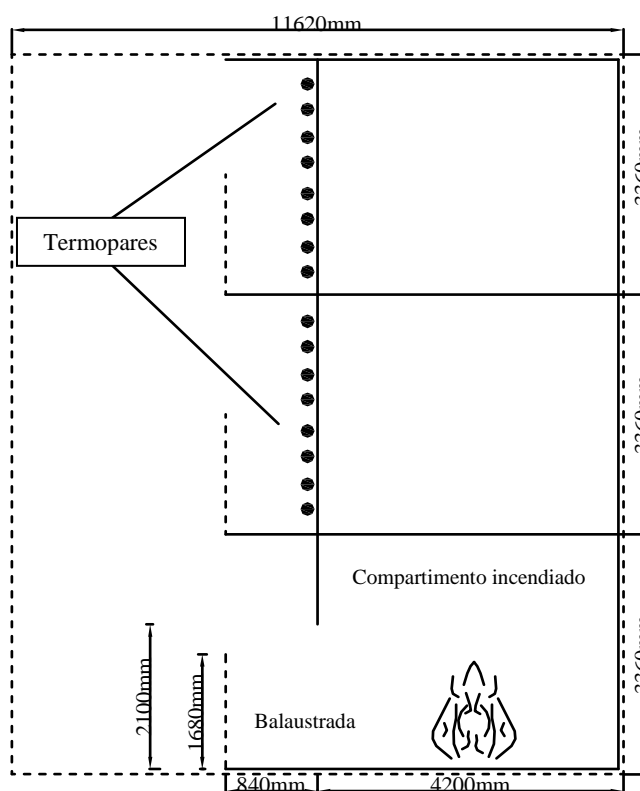


Figura 39: Modelo apresentado por Chen *et al* (2006), utilizando o FDS.

As conclusões discordaram parcialmente dos pesquisadores no que tange à configuração da sacada, afirmando que a simples projeção horizontal, não oferece tanta proteção quanto às sacadas com parapeito em concreto ou alvenaria, e com paredes separatórias, conforme figura 40.

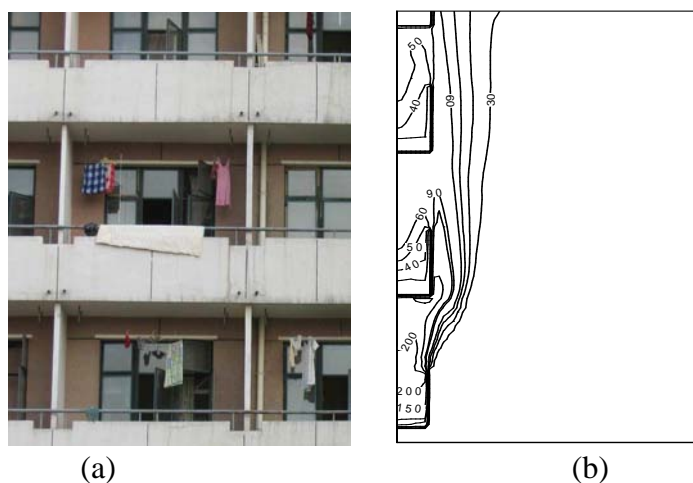


Figura 40: Configuração de sacada que apresentou melhores resultados (a), e sua respectiva simulação no FDS (b) (Chen *et al*, 2006).

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. Afirma então, que para todas estas maneiras, as temperaturas ao longo da parede externa são os parâmetros principais de verificação da velocidade de propagação.

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 41, 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 ignir a maioria dos materiais.

Ainda, De Haan (2007) ressalta que a taxa total de calor liberado pela pluma é a soma destas produzidas pela convecção e pela radiação, sendo a primeira dada pela equação $q = h(\Delta T)$, onde q é a taxa de calor liberado em W/m², h é um coeficiente que representa a eficiência da troca de calor entre os materiais, e ΔT é a variação de temperatura. O coeficiente h para a pluma de um incêndio no ar varia entre 5 e 10 W/m²°C.

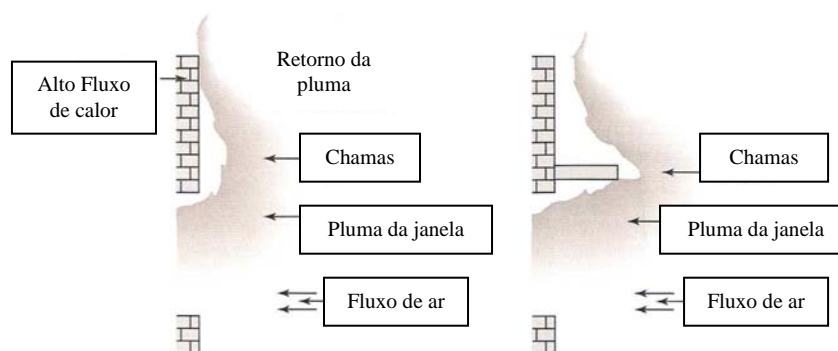


Figura 41: Desenho esquemático do afastamento da chama ejetada pela janela devido a presença de projeção horizontal (DeHaan, 2007).

Para a radiação, é apresentada na tabela 8, 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.

A taxa de calor liberado por convecção é muito menor do que a taxa de liberação por radiação.

Tabela 8: Efeitos da radiação térmica nos sólidos (madeira, plásticos) e pele humana

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	2-4	45	Dor após 30 segundos
Próximo de um incêndio	4-6	54	Dor após 10 segundos
Muito próximo de um incêndio	10	100-200	- Chamuscamento de alguns materiais; - Derretimento (fusão) de alguns plásticos.
Junto ao incêndio	20	200-300	Alguns materiais celulósicos e sintéticos ignem em menos de 60 s.
Dentro do incêndio	30	300-400	Autoignição de muitos materiais entre 0-30 segundos (madeira em >60 s)
Junto às chamas	50	400	Autoignição de todos os materiais
Pós- <i>flashover</i>	120-150	> 500	Combustão rápida

Fonte: ASTM E1321(1997): *Standard Test Method for Determining material ignition and flame spread properties* apud DeHaan (2007)

Himoto *et al* (2008) realizaram ensaios em escala reduzida utilizando uma caixa com uma abertura frontal, com um ventilador acoplado em outro extremo do compartimento, e diversos termopares distribuídos do lado externo da fachada simulada, conforme figura 42. O combustível usado foi o metanol, simulando um incêndio sem a existência de vento e outros dois com velocidades diferentes.

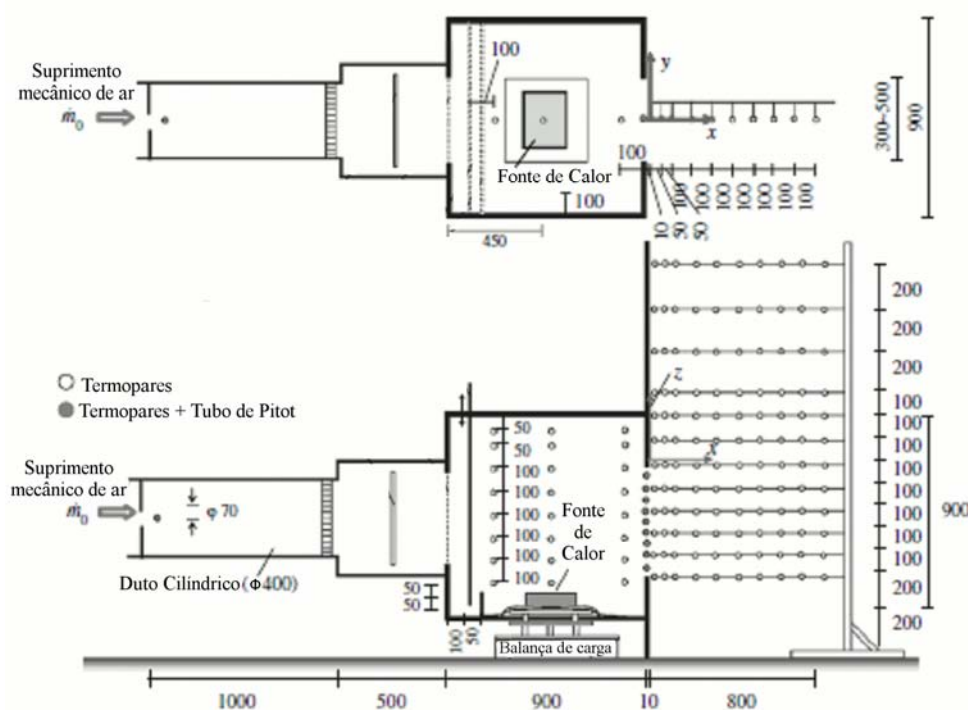


Figura 42: Modelo em escala reduzida proposto por Himoto *et al* (2008).

O objetivo deste experimento era modelar numericamente o comportamento da chama ao ser ejetada pela janela, bem como a influência do vento no desenvolvimento do incêndio. Observou-se que a chama primeiramente sai da janela com uma trajetória horizontal e gradativamente muda para a vertical devido a entrada de ar por uma parte inferior da abertura. Ainda, comprovaram que o suprimento de ar possui duas maiores influências no incêndio: intensificar a combustão e diluir os gases do compartimento.

Dáí, perceberam que cada incêndio possui uma relação combustível/ar característica, ou seja, se o valor for maior, com suprimento de ar controlado, a intensidade dependerá exclusivamente do oxigênio fornecido, ao passo que, se o valor for menor, com o combustível escasso, outras variáveis do ambiente condicionarão a intensidade, tais como as propriedades dos materiais e a configuração do compartimento.

Também, compararam os ensaios em escala reduzida com os testes em escala real de Yokoi (1960), garantindo a concordância, apesar de apresentarem as temperaturas um pouco mais baixas. A figura 43 mostra os gráficos comparativos dos experimentos, relacionando as temperaturas atingidas com as distâncias verticais das aberturas, conforme as dimensões da abertura, sendo elas 0,3 m de largura por 0,5 m de altura e de 0,3 m x 0,3 metros.

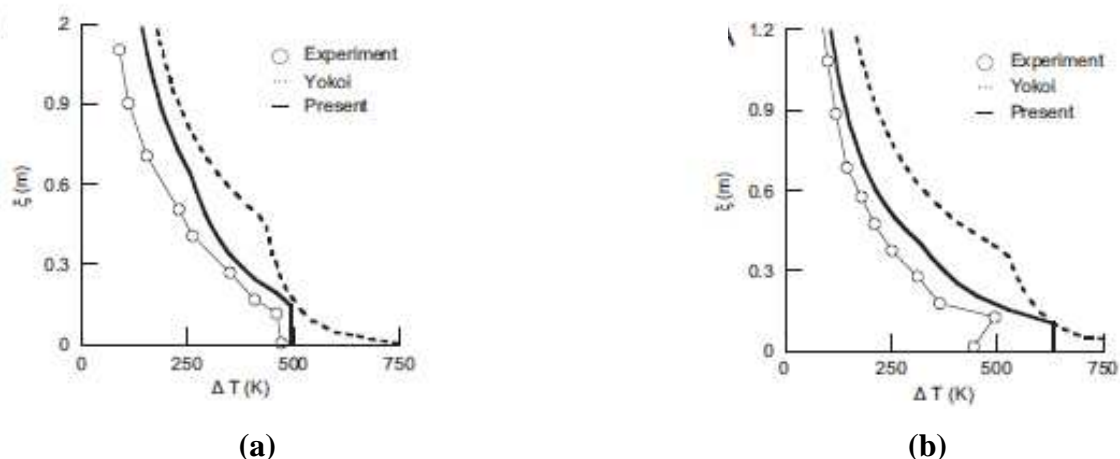


Figura 43: Gráficos comparativos temperatura x altura com abertura de 0,3 x 0,5 m (a) e 0,3 x 0,3 m (b) (Himoto *et al*, 2008).

Huang *et al* (2008) conduziram experimentos em uma caixa dentro de um túnel de vento, simulando diferentes condições de vento e em diversas localizações da fonte de calor, como mostrado na figura 44. Após o início da queima, aguardavam estabilizarem-se as temperaturas (valores constantes por 20 segundos ou mais), caracterizando assim o desenvolvimento completo do incêndio, e descobriram que esta constância era atingida em maior tempo na condição sem vento, mantendo-se mais. No entanto, nas condições com vento, as máximas temperaturas eram atingidas em menor tempo, porém baixavam mais rápido do que sem vento.

Concluíram então, que o vento têm dois efeitos opostos; um de promover a combustão dentro do compartimento e aumentar a temperatura; e outro de retirar e diluir os gases inflamáveis diminuindo a temperatura e levando à extinção. Qual efeito predomina depende da direção e da velocidade do vento, a posição do combustível e as geometrias da edificação e das aberturas.

As temperaturas foram registradas com termopares e a extensão da chama foi determinada por inspeção visual, filmagem e fotografia.

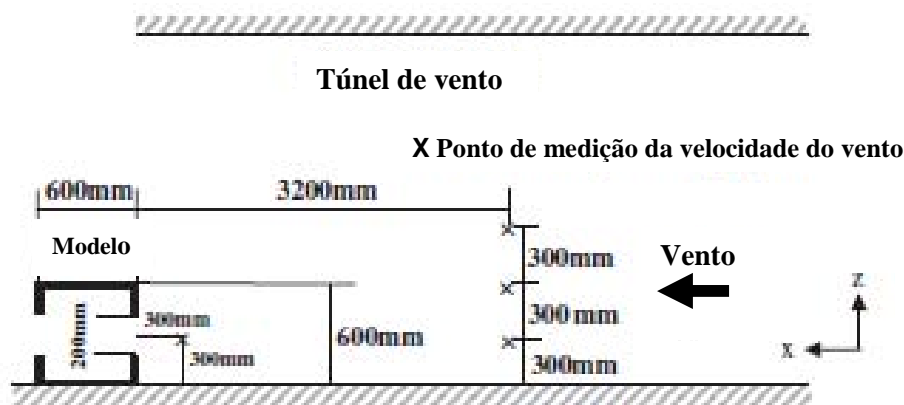


Figura 44: Modelo em escala reduzida proposto por Huang *et al*(2008).

Comprovaram ainda, conforme figura 45, que a maior velocidade do vento empregada nos ensaios (3 m/s) aumenta a inclinação das chamas, afastando-as da parede, e cresce sua largura ao serem projetadas para fora da janela. No entanto, devido aos efeitos opostos já mencionados, as temperaturas da chama ejetada são mais baixas em relação ao mesmo ensaio sem vento.

Isto foi corroborado ao compararem os resultados com os experimentos de Yokoi, os quais foram totalmente concordantes em combustões na ausência do vento, apresentando temperaturas um pouco mais baixas na presença deste. Assim, a condição nula do vento demonstrou ser a mais severa no que tange ao risco das chamas projetadas pelas janelas na propagação de um incêndio.

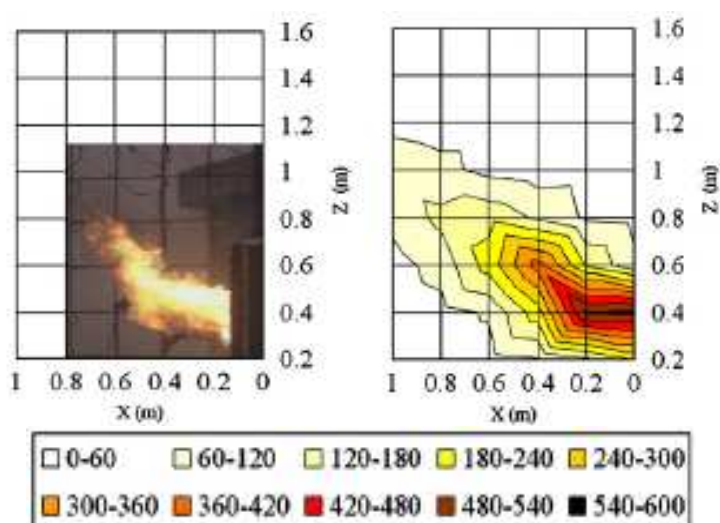


Figura 45: Demonstração da extensão das chamas projetadas para o exterior da abertura, com as temperaturas em °C e a velocidade do vento de 3 m/s (Huang *et al*, 2008).

6 PROGRAMA EXPERIMENTAL

6.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

O presente programa experimental teve 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).

Esta eficiência foi verificada de duas formas. A primeira através da simulação computacional de incêndio (FDS 5); e a segunda por meio de ensaios práticos em compartimentos com escala proporcionalmente reduzida, baseando-se nos estudos já realizados anteriormente, justamente pela inexistência de padronização deste ensaio.

Devido a infinidade de combinações de cenários, visando a exequibilidade dos experimentos, serão variados os valores de carga de incêndio e geometria das aberturas.

Para a análise da eficiência dos sistemas constantes nas exigências normativas brasileiras, foram variados os afastamentos entre aberturas e o comprimento das projeções horizontais utilizando o software.

Já para os ensaios em escala reduzida, esses parâmetros foram fixados, baseados na IT n° 09/04 do Corpo de Bombeiros de São Paulo, justamente por abranger os detalhamentos exigidos na maioria dos Estados, possibilitando a comparação entre os resultados dos dois experimentos.

Como não existem normas nacionais ou internacionais específicas sobre a análise da eficiência funcional destes sistemas, e como o incêndio é um fenômeno natural que interage com todos os fatores ambientais, torna-se difícil firmar um comparativo exato entre as simulações computacionais e os experimentos de campo. Contudo, pode-se estabelecer uma

estimativa comportamental sobre a dinâmica do fogo e a eficiência da compartimentação vertical externa.

Os ensaios a serem realizados podem não possuir padrões normativos, mas devem garantir a repetibilidade e a reprodutibilidade. De acordo com Seito (2008), o primeiro conceito fundamenta que os ensaios devem ser executados com intervalos de tempo pequenos entre eles, sob as mesmas condições, com o mesmo operador, bem como iguais equipamentos e métodos. O segundo, garante que o ensaio poderá ser novamente realizado, em maior intervalo de tempo, mesmo com variações de equipamentos e operadores.

Portanto, os resultados relevantes à pesquisa serão a verificação visual da trajetória das chamas e da fumaça do compartimento sinistrado para o adjacente superior; e a constatação das temperaturas atingidas na parte externa da fachada, importante para a determinação da propagação do incêndio aos demais pavimentos.

6.2 SIMULAÇÃO DE INCÊNDIO EM ESCALA REDUZIDA

6.2.1 Simulador de incêndio em escala reduzida

Para a realização deste ensaio, foi construído no quartel do Comando do Corpo de Bombeiros do Rio Grande do Sul, um simulador de incêndio em escala reduzida.

Este simulador consiste em três compartimentos sobrepostos, construídos utilizando alvenaria convencional, separados por lajes de concreto, com resistência média (f_{ck}) de 40 Mpa e espessura de 4 cm. Internamente, cada compartimento possui dimensões de 1x1 metro e 80 cm de altura. Tais dimensões foram definidas utilizando uma redução de 1/3 das dimensões reais do que seria um compartimento de uma habitação popular.

Os compartimentos foram revestidos por dentro com blocos de concreto celular autoclavado, comprovadamente resistente ao fogo, com juntas secas, fixadas às paredes do simulador com argamassa convencional, bem como as lajes foram colocadas sobre estes blocos apenas utilizando seus pesos próprios para fixação, no intuito de possibilitar a troca em caso de desgaste ou falência de suas propriedades, conforme figura 46.



Figura 46: Simulador de incêndio em construção

Para tornar o ambiente mais estanque e inerte possível, evitando trocas de calor excessivas com os materiais, além dos blocos de concreto celular, toda a selagem foi realizada utilizando manta de fibra cerâmica e massa isolante. Tais materiais são altamente resistentes termicamente e ao contato direto com a chama, com baixa condutividade térmica e baixo armazenamento de calor, como mostrado na figura 47.



Figura 47: Detalhamento da selagem interna dos compartimentos.

Em sua parede lateral, como mostra a figura 48, foram graduadas as alturas a cada 10 cm, como também à sua frente foram inseridos parafusos com a mesma distância entre si para a referência de distâncias horizontais.



(a)



(b)

Figura 48: Detalhamento das graduações verticais (a) e horizontais (b).

Para determinar a configuração da fachada e a geometria das aberturas, foram inseridas na parte frontal do simulador, chapas de gesso acartonado resistentes ao fogo, de espessura 1,25 cm, com a geometria das aberturas a serem utilizadas nos ensaios, figuras 49 e 52. Todo o sistema foi fixado por meio de chapas de aço com espessura de 2 mm e abraçadeiras, detalhadas na figura 50, bem como a selagem foi realizada com fibra cerâmica e massa isolante, como apresentado na figura 51.



Figura 49: Colocação do gesso acartonado resistente ao fogo mostrando as diferentes configurações de aberturas.



Figura 50: Detalhamento do sistema de fixação por abraçadeiras.

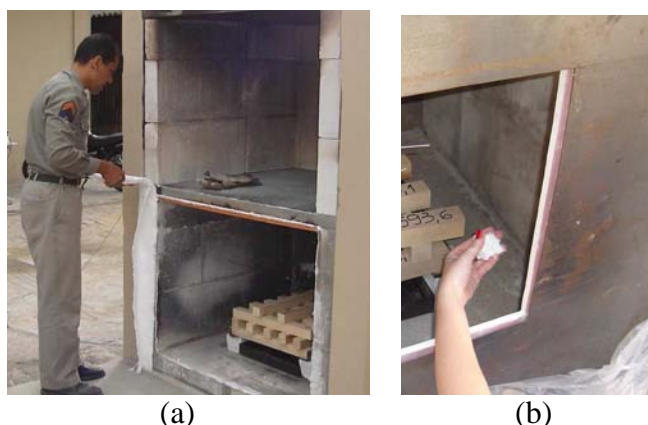


Figura 51: Selagem das juntas com manta de fibra cerâmica (a) e massa isolante (b).



Figura 52: Integridade da chapa de gesso acartonado resistente ao fogo após a queima.

Então, as lajes foram construídas aos pares com comprimentos de 1,10 m e 1,40 m. As primeiras com o objetivo de tão somente separar os compartimentos, e a segunda para formar uma projeção externa de 30 cm como prolongamento dos pisos, conforme exigência normativa, porém reduzida a 1/3. Daí, surgiram as seguintes configurações para os ensaios, mostradas nas figuras 53 e 54: Aberturas estreitas e largas, com e sem projeção.

As aberturas estreitas, convencionalmente eram quadradas, com a proporção base/altura 1:1, mediam 44x44 cm e distanciavam-se 40 cm entre si, medidos da parte superior da janela do primeiro pavimento à inferior da acima consecutiva, garantindo em escala reduzida o afastamento exigido na maioria das normas brasileiras de 1,20 metros.

Para verificar a influência da geometria das aberturas na dinâmica do incêndio, as configurações das aberturas largas, determinadas em semelhança às pesquisas já realizadas como sendo na forma retangular com a base maior, mantiveram a mesma área de ventilação (1.936 cm²), porém com a proporção 2:1, medindo 88x22 cm e distando entre si 62 cm, bem

como todas as configurações tinham a distância de 11 cm entre a parte superior da abertura e a laje, mantendo o mesmo desenho para o pé-direito.

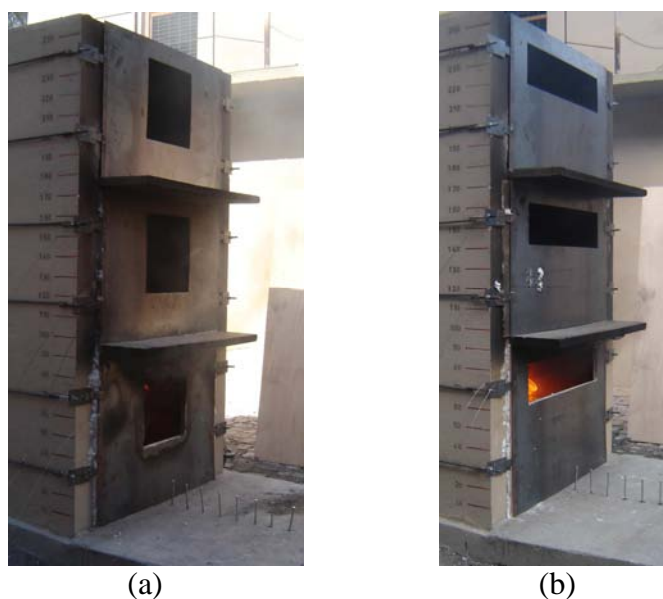


Figura 53: Configurações de fachada com projeção horizontal e aberturas estreita (a) e larga (b).

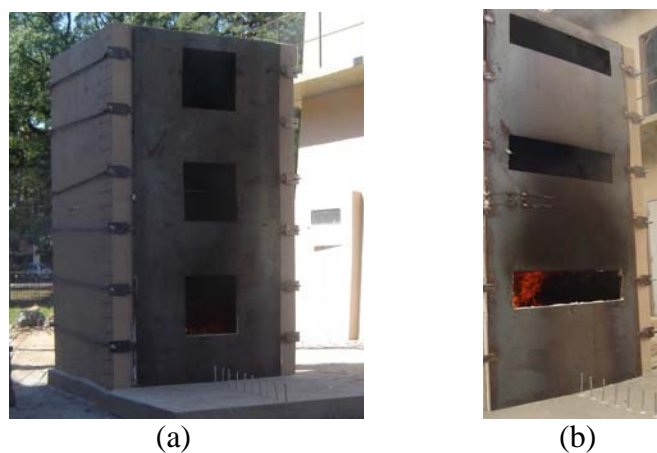


Figura 54: Configurações de fachada sem projeção horizontal e aberturas estreita (a) e larga (b).

6.2.2 Equipamentos utilizados

Para a constatação das temperaturas ao longo do simulador, foram instalados termopares tipo “K”, enumerados para melhor entendimento conforme configurações mostradas nas figuras 61(a), 61(d), 61(g) e 61(h), constantes na subseção 6.3.5, desenvolvidas também para as simulações computacionais.

A trajetória da pluma ejetada pela abertura foi registrada por meio de filmagem e fotografia.

Também, foi utilizada a termografia, que é um método não invasivo e não destrutivo baseado na detecção da radiação térmica, a qual objetiva durante os ensaios verificar as temperaturas abaixo e acima da projeção horizontal, e ainda ratificar a dinâmica de propagação do calor.

Os equipamentos usados foram os termógrafos THERMOVISION 550, fabricante AGEMA, com resposta espectral na faixa de 3,6 a 5,0 μm , e o PV 320, da ELECTROPHISYCS, com resposta espectral entre 7,0 e 12 μm . Ambos constataram como emissividade da pluma de gases aquecidos o valor de 0,5.

6.2.3 Procedimentos de ensaio

6.2.3.1 Carga de incêndio

Primeiramente, para a conversão de unidades, foi utilizada a fórmula (15) apresentada por Bailey (2008), a qual transforma a carga de incêndio (q) de MJ/m² em potência liberada (Q) em MW, e vice-versa, durante um incêndio de 20 minutos, qual seja:

$$Q = \frac{A_f \times q}{1.200} \quad (15)$$

Para a determinação das cargas de incêndio a serem utilizadas, foi utilizado o valor para risco baixo extraído do Decreto Estadual de São Paulo nº 46.076/01, 300 MJ/m², correspondente a 2,25 MW em escala real. Para risco médio, foi utilizado o valor de 5,2 MW, correspondente a 693,33 MJ/m², constatado pela *Fire Research Station apud* DeHaan (2007) para atingir o *flashover*.

As cargas de incêndio em escala reduzida para o risco baixo e o médio, foram determinadas pela lei de escala desenvolvida por Byram (1966), apresentada na equação (14), apresentando os valores de 173,2 MJ/m² ou 144,34 kW, e de 400,3 MJ/m² ou 333,58 kW respectivamente, utilizando a área do piso do compartimento incendiado (A_f) do simulador igual a 1 m².

6.2.3.2 Reprodução do incêndio em escala reduzida

Como não existe norma específica para a realização destes ensaios, para a queima e reprodução do incêndio em escala reduzida, foi feita uma adaptação da NBR 9443 – Extintor de incêndio classe A: Ensaio de fogo em engradado de madeira (ABNT, 2002).

As adaptações realizadas foram as seguintes:

- a) a quantidade de madeira foi utilizada de acordo com a carga de incêndio requerida, utilizando o poder calorífico específico da madeira igual a 19 MJ/kg, determinado pela NBR 14.432 (ABNT,2001), totalizando os pesos respectivos para risco baixo e médio em escala reduzida de 9,1 kg e 21,1 kg;
- b) devido a proibição da comercialização da madeira pinho-do-paraná especificada na norma, através da Portaria do IBAMA nº 37-N de 03 de abril de 1992, foi utilizada a madeira pinus advinda de reflorestamento e disponível no mercado;
- c) o líquido inflamável utilizado e disponível para a ignição foi gasolina de aviação, na quantidade especificada de um litro;
- d) o recipiente para o líquido inflamável de ignição confeccionado em aço de espessura 2 mm, apresentava dimensões de 40x50cm e 5 cm de altura;
- e) o engradado de madeira ficou à altura do solo de 10 cm, sendo suportado por blocos de concreto celular;

As madeiras utilizadas possuíam suas seções medindo 4,5x4,5 cm e 50 cm de comprimento, sendo suas quantidades determinadas pelo peso total necessário, após exposição ao sol durante seis dias.

O engradado de madeira foi colocado no centro do compartimento inferior de acordo com a NBR 9443 (ABNT, 2002) e mostrado na figura 55 .



Figuras 55: Arranjo do engradado de madeira no compartimento.

Então, os termopares foram colocados nas devidas posições, conforme figura 56, e transcorridos 20 minutos após a ignição, o fogo era extinto utilizando água.

Em queimas anteriores aos ensaios, o líquido inflamável era completamente consumido após aproximadamente quatro minutos, permanecendo o fogo advindo da madeira. Também, todos os ensaios foram realizados com vento nulo.



Figura 56: Posicionamento do engradado de madeira e dos termopares após a colocação da fachada.

6.2.3.3 Especificação dos ensaios

No total, foram realizadas 16 ensaios, distribuídos conforme tabela 9, de cujos resultados foram extraídas as médias.

Tabela 9: Especificação dos ensaios realizados

Ordem da queima	Risco Representado		Configuração da abertura		Projeção horizontal	
	Baixo	Médio	Estreita	Larga	Com projeção	Sem projeção
1	X		X			X
2	X		X			X
3		X	X			X
4		X	X			X
5	X			X		X
6	X			X		X
7		X		X		X
8		X		X		X
9	X		X		X	

Tabela 9: Especificação dos ensaios realizados

Ordem da queima	Risco Representado		Configuração da abertura		Projeção horizontal	
	Baixo	Médio	Estreita	Larga	Com projeção	Sem projeção
10	X		X		X	
11		X	X		X	
12		X	X		X	
13	X			X	X	
14	X			X	X	
15		X		X	X	
16		X		X	X	

6.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIO

6.3.1 Software e equipamento utilizado

Foi utilizada a 5ª versão do software Fire Dynamic Simulator (FDS 5), instalado em um computador contendo um processador com quatro núcleos de processamento, operando a uma velocidade de 2,4 GHz, memória RAM disponível de 3 Gb, disco rígido com memória de 500 Gb e placa de vídeo de 512 Mb.

6.3.2 Cargas de incêndio

Objetivando a reprodução da queima, o programa possibilita colocar superfícies, denominadas “*vents*” com a carga de incêndio determinada, comumente chamadas de queimadores.

Para equiparação da carga de incêndio realizada nos ensaios em escala reduzida, foi gerado um queimador de 50x50cm no centro do compartimento inferior, figura 57. Contudo, devido a área total de queima estar reduzida quatro vezes, e como o software reduz de forma automática os valores proporcionalmente à área, a carga de incêndio utilizada, para representar corretamente os ensaios de campo foi ajustada para 577 kW e 1,334 MW, respectivamente para os riscos baixos e médios.

Também, para representar a fase de aquecimento do incêndio, o que ocorre após a ignição até a taxa máxima de liberação de calor, foi estabelecido no minuto inicial, uma rampa linear de aquecimento, iniciando com 5% até a carga de incêndio máxima, assim permanecendo por mais um minuto, ou seja, o tempo total de simulação computacional para cada ensaio foi de 120 segundos. Tal tempo foi determinado após diversas simulações realizadas na fase de concepção do programa experimental, percebendo-se que após este tempo, havia uma repetição comportamental, pois os materiais eram inertes e a taxa de queima permanecia constante.

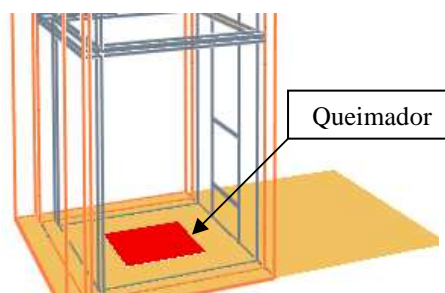


Figura 57: Compartimento simulado pelo FDS 5 mostrando a localização do queimador (“vent”) no compartimento inferior.

6.3.3 Delimitação da área de cálculo

Nas simulações, foram utilizadas áreas de controle para cálculo, denominadas no software de “*mesh*”, figura 58, com as dimensões totais, bem como a resolução traduzida na quantidade de células existentes na grade de cálculo, posteriormente apresentadas na subseção 6.3.5.

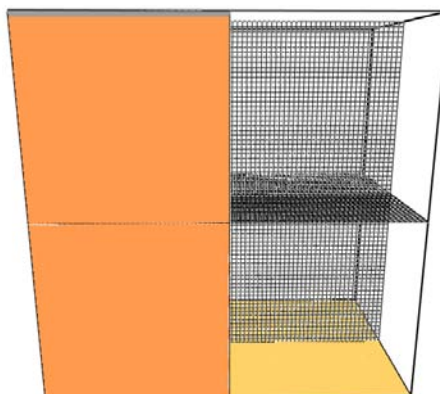


Figura 58: Compartimentos simulados pelo FDS 5 mostrando a delimitação do “*mesh*” e as grades de resolução.

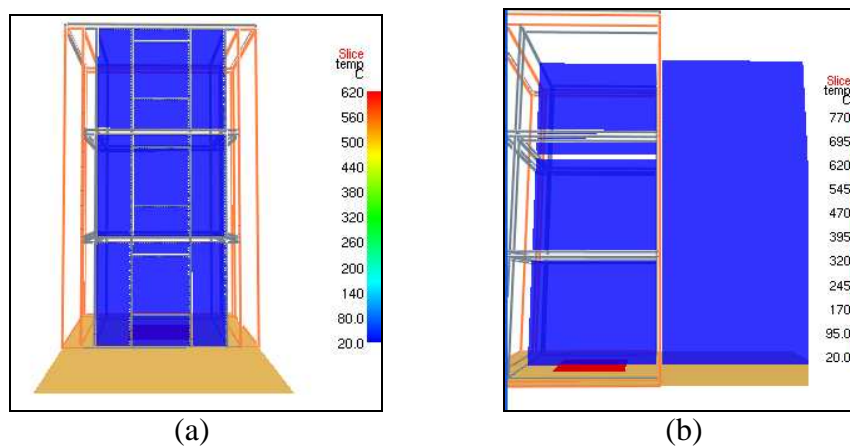
6.3.4 Verificação das temperaturas atingidas e taxas de liberação de calor

No FDS 5 podem ser inseridos termopares em seus cenários de incêndio. A subseção 6.3.5 oportunamente mostra o posicionamento destes de acordo com as configurações dos compartimentos.

Todos os materiais constituintes do simulador foram considerados inertes, evitando perdas e trocas de calor com as paredes, dando ênfase à dinâmica do fogo, reduzindo o tempo computacional de cálculo.

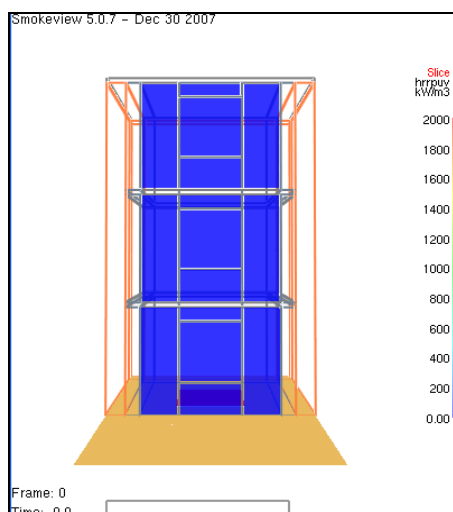
Também, foram previstas superfícies dinâmicas, conhecidas no software como “*slice*”, que podem ser posicionadas em qualquer projeção de eixo, mostrando o desenvolvimento das temperaturas e da taxa de liberação de calor ao longo do tempo.

Inseriram-se superfícies de temperatura paralela e transversalmente à fachada, como mostrado na figura 59, para constatação das temperaturas dentro do compartimento incendiado, e a propagação para as aberturas acima deste.



Figuras 59: *Smokeview* mostrando as superfícies (*slices*) de temperatura paralela (a) e transversalmente (b) à fachada dos compartimentos.

Ainda, foram programadas superfícies dinâmicas que demonstram a taxa de liberação de calor por unidade de volume (HRRPUV), expressa em kW/m^3 , como mostra a figura 60. Bastou multiplicar por uma dimensão das células, e obteve-se a taxa em kW/m^2 , como expressa pelas pesquisas já descritas no capítulo 5. Estas superfícies foram utilizadas para os ensaios em risco médio, devido a maior severidade do incêndio, para ratificar as constatações explanadas nas seções seguintes.



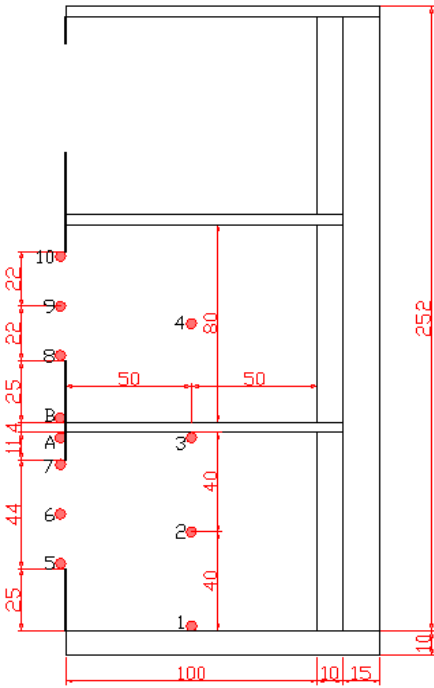
Figuras 60: *Smokeview* mostrando a superfície (*slice*) de taxa de liberação de calor paralela à fachada dos compartimentos.

6.3.5 Cenários desenvolvidos

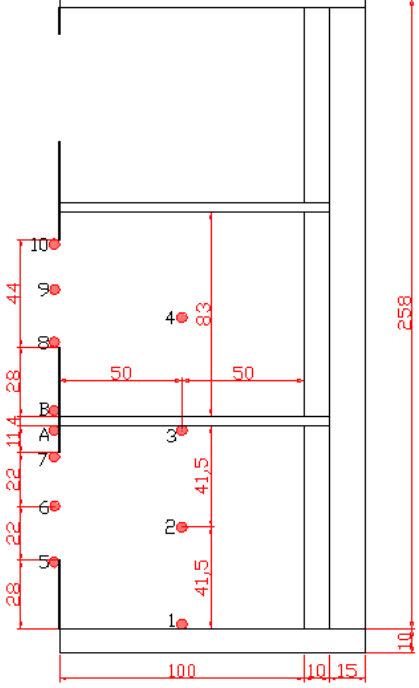
Foram desenvolvidos doze cenários distintos, abrangendo as exigências normativas brasileiras da seção 3.5, simulados com carga de incêndio representativa para classificação em risco baixo e em risco médio.

As dimensões estão especificadas na figura 61, com os detalhamentos individuais discriminados na tabela 10, indicando a geometria correspondente.

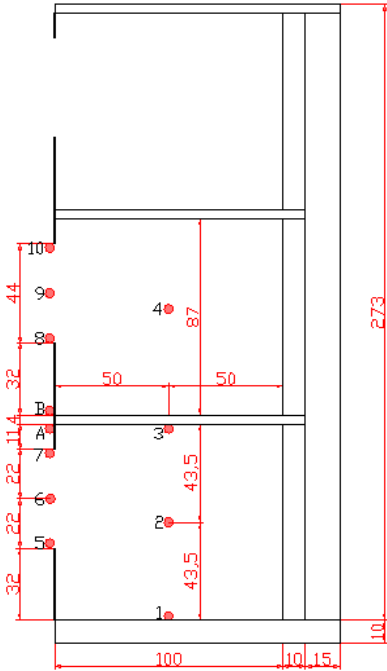
Salienta-se que os cenários apresentados nas figuras 61(a), 61(d), 61(g) e 61(h) foram igualmente desenvolvidos, inclusive no posicionamento dos termopares, para os experimentos com o simulador de incêndio em escala reduzida, possibilitando a comparação dos resultados.



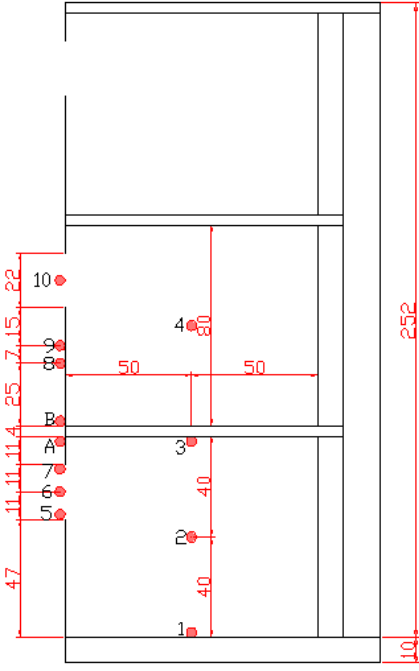
(a)



(b)



(c)



(d)

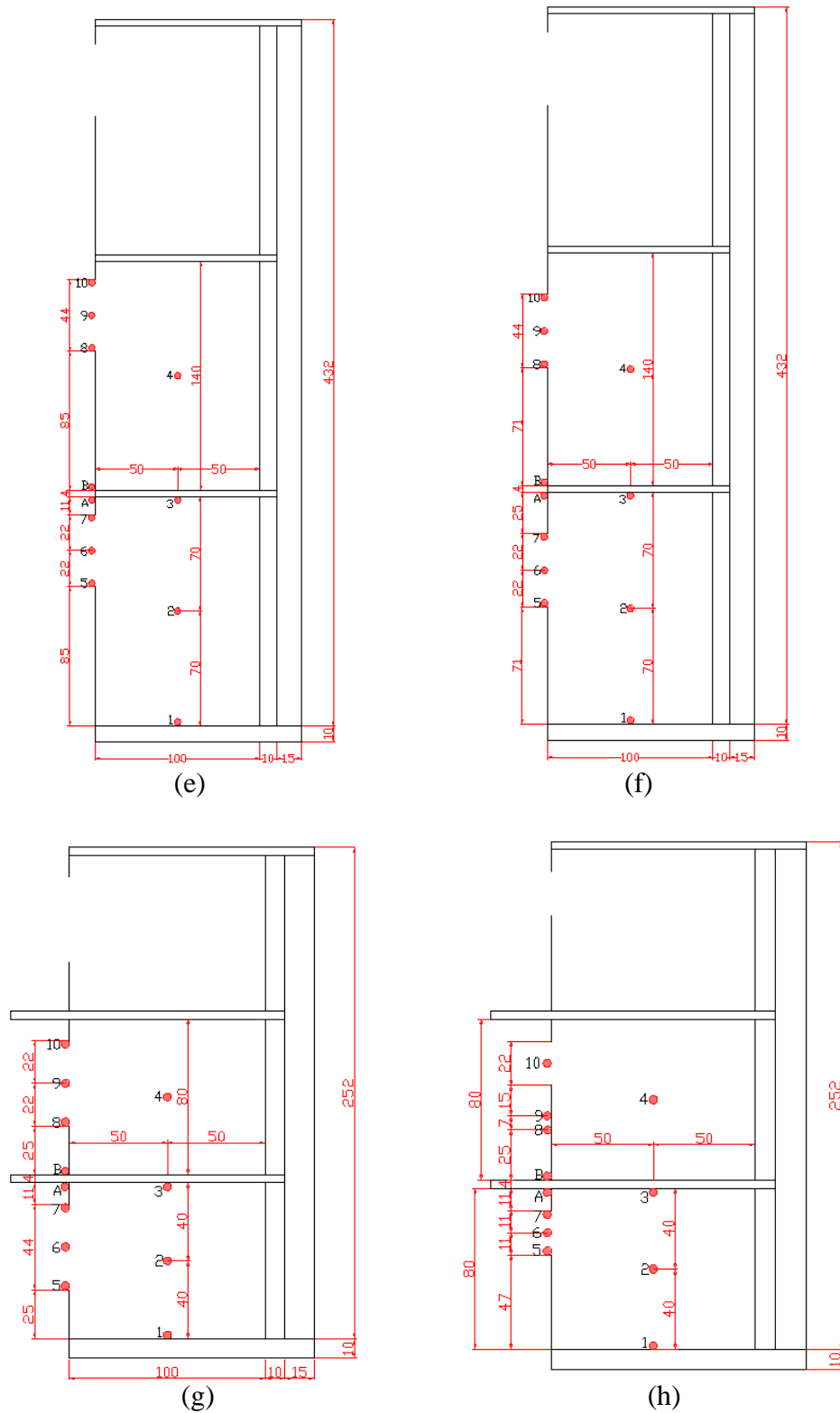


Figura 61: Cortes esquemáticos mostrando as configurações e dimensões dos cenários desenvolvidos, de (a) até (h), com as correspondentes discriminações apresentadas na tabela 10.

Tabela 10: Discriminações das simulações computacionais de incêndio realizadas

Dimensões (Figura 61)	Tipo de abertura	Dimensão do afastamento ou projeção horizontal	Tamanho da área total de cálculo – <i>mesh</i> XxYxZ (m)	Resolução da grade – nº de células (X x Yx Z)	Tempo aproximado de cálculo (horas)
(a)	Estreita	Afastamento 40 cm	2,512x1,5x2,5	72x43x72	Médio: 6,783 Baixo: 4,333
(b)	Estreita	Afastamento 43 cm	2,512x1,5x2,6	72x43x75	Médio: 7,267 Baixo: 4,717
(c)	Estreita	Afastamento 47 cm	2,512x1,5x2,7	72x43x78	Médio: 7,333 Baixo: 4,833
(d)	Larga	Afastamento 62 cm	2,512x1,5x2,5	72x43x72	Médio: 5,633 Baixo: 5,283
(e)	Estreita	Afastamento 1 m	2,512x1,5x4,3	63x38x108	Médio: 12,33
(f)	Estreita	Afastamento 1 m	2,512x1,5x4,3	63x38x108	Médio: 15,50
(g)	Estreita	Projeção 26,7 cm	2,729x1,5x2,5	78x43x72	Médio: 6,21 Baixo: 4,78
(g)	Estreita	Projeção 30 cm	2,762x1,5x2,5	79x43x72	Médio: 6,11 Baixo: 4,80
(g)	Estreita	Projeção 33,3 cm	2,795x1,5x2,5	80x43x72	Médio: 6,06 Baixo: 4,86
(h)	Larga	Projeção 26,7 cm	2,729x1,5x2,5	78x43x72	Médio: 4,96 Baixo: 5,30
(h)	Larga	Projeção 30 cm	2,762x1,5x2,5	79x43x72	Médio: 4,93 Baixo: 5,50
(h)	Larga	Projeção 33,3 cm	2,795x1,5x2,5	80x43x72	Médio: 4,93 Baixo: 5,10

7 RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO

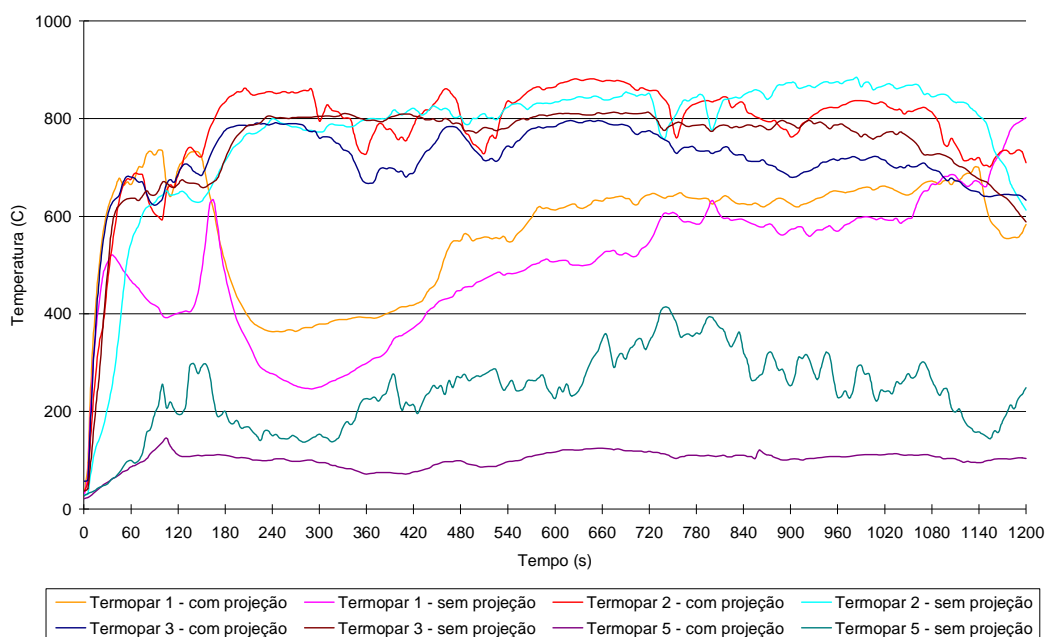
7.1 DINÂMICA DO INCÊNDIO

Nesta seção, serão apresentados os resultados e a análise de equiparação dos ensaios com os estudos já realizados e relatados nos capítulos 2 e 5 deste trabalho, com vistas à validação do programa experimental.

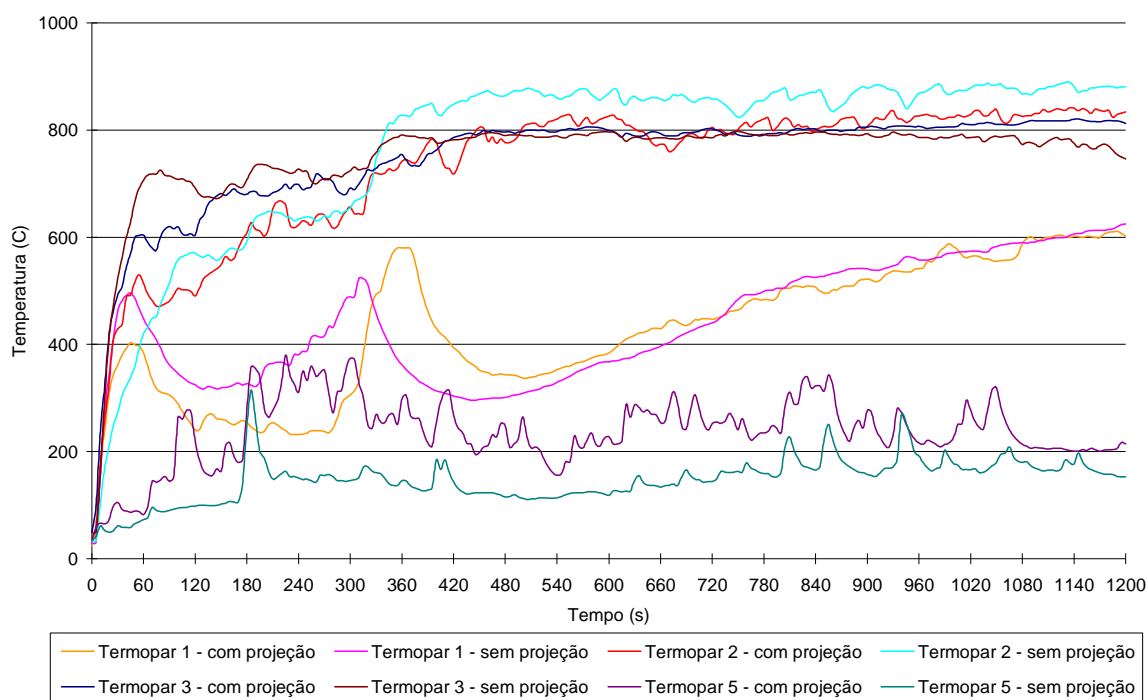
7.1.1 Dinâmica do incêndio no compartimento

Na figura 62 são apresentados os gráficos contendo os termopares internos ao compartimento incendiado no simulador de incêndio em escala reduzida para os riscos baixos, com e sem projeção horizontal, bem como o termopar localizado da parte inferior da janela (termopar 5).

Nota-se que junto ao piso, as temperaturas representadas pelo termopar 1 são consideravelmente mais baixas em relação a parte superior (termopares 2 e 3), mantendo-se assim até o final do ensaio.



(a)



(b)

Figura 62: Gráficos das temperaturas dos ensaios em escala reduzida para risco baixo com abertura estreita (a) e larga (b).

A fase de aquecimento ou pré-flashover é caracterizada pelas temperaturas mais baixas na parte inferior do compartimento e pela maior disponibilidade de ar. Apesar das temperaturas altas junto ao teto, a limitação da carga de incêndio não permite a transição de fase (*flashover*).

O fluxo de ar é notório por intermédio das temperaturas mais baixas atingidas na parte inferior da abertura (termopar 5) em relação ao topo do compartimento. Tal fluxo de ar também é mostrado na figura 63, através da camada de temperaturas na simulação no FDS 5.

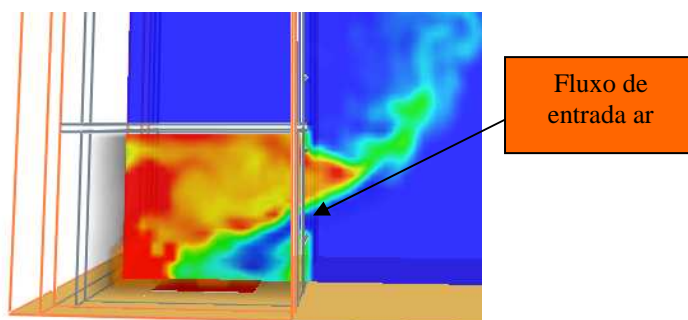


Figura 63: Simulação computacional de incêndio para risco baixo com abertura estreita mostrando o fluxo de entrada de ar pela parte inferior da abertura do compartimento incendiado.

A figura 64, mostra claramente, aos 10 minutos nos ensaios em escala reduzida, que não existiram chamas consideráveis projetadas para fora do compartimento, bem como eram inconstantes, durando no máximo 5 segundos, justamente por não ocorrer a ignição súbita generalizada.

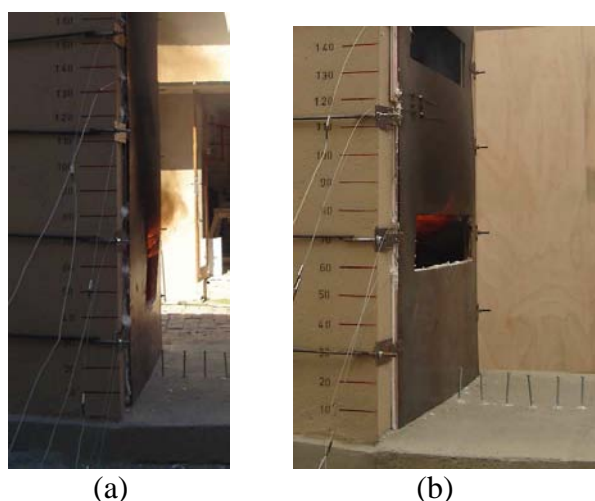


Figura 64: Fachadas com aberturas estreitas (a) e largas (b) em ensaio para risco baixo, aos 10 minutos de queima.

Em todos os ensaios com aberturas estreitas, utilizando a carga de incêndio para risco médio, ao atingirem suas condições de ignição súbita, entre os tempos de 9 e 11 minutos, como mostrado na figura 65, por existirem melhores condições de fornecimento de ar devido à configuração vantajosa (dobro da dimensão vertical em relação à abertura larga), as temperaturas imediatamente tenderam a assumirem os maiores valores do topo, ficando todo o compartimento por igual.

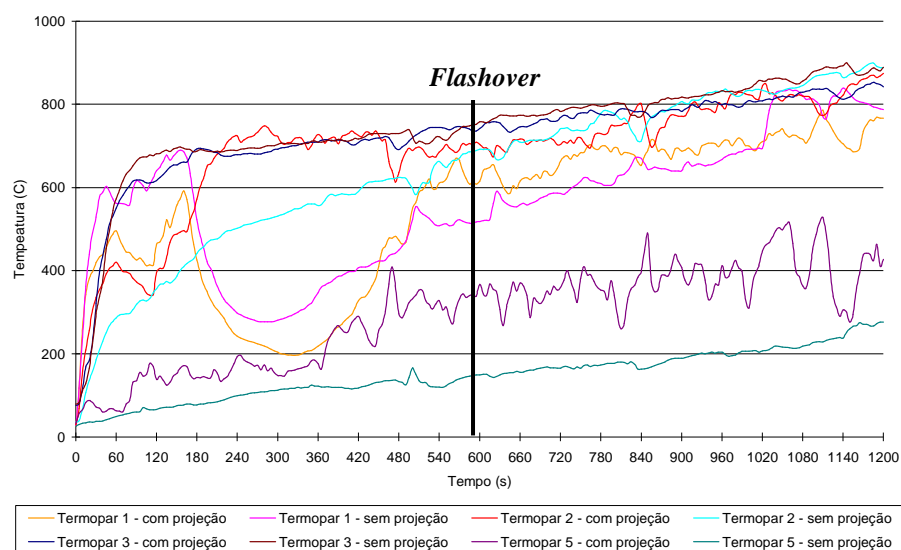


Figura 65: Gráfico das temperaturas internas do compartimento com abertura estreita, com e sem projeção horizontal, para risco médio.

Para o ensaio também utilizando carga de risco médio, porém com abertura larga, conforme gráfico apresentado na figura 66, houve uma discrepância entre a presença ou não de projeção horizontal.

As temperaturas na parte superior do compartimento são semelhantes para ambos os casos, identificadas pelo termopar 3, mas diferentemente da abertura estreita, mesmo depois do *flashover*, também entre 9 e 11 minutos, próximo ao piso as temperaturas mantiveram-se abaixo da máxima, sendo que no ensaio com projeção horizontal, o compartimento encontrava-se menos quente.

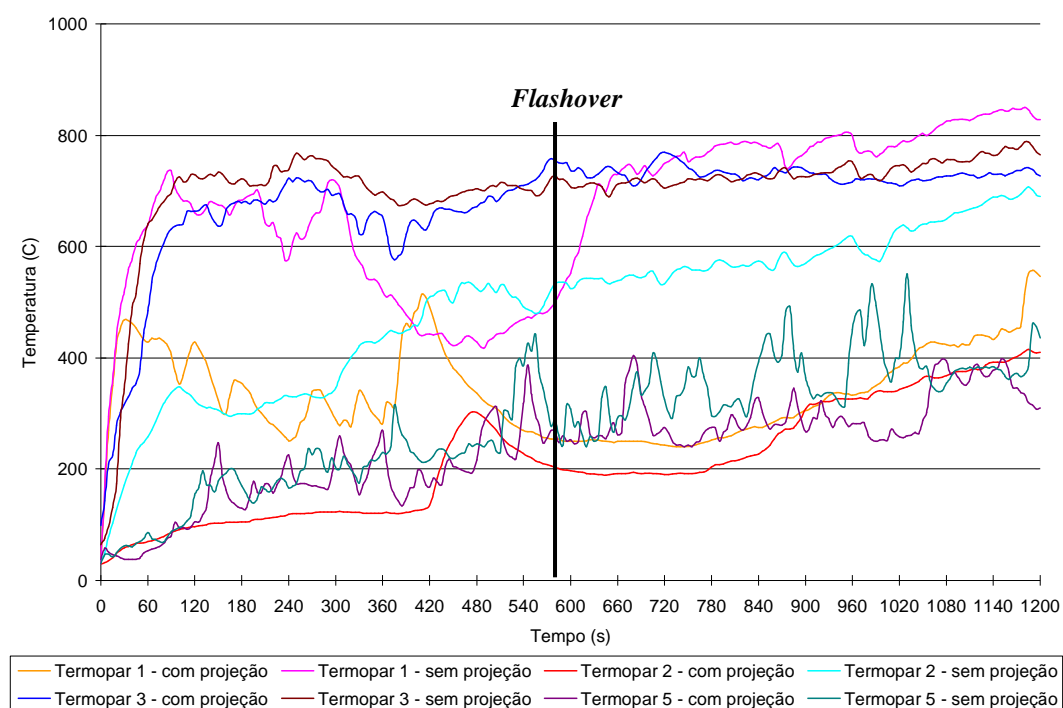


Figura 66: Gráfico dos termopares internos ao compartimento incendiado com abertura larga, com e sem projeção, para risco médio.

Devido a esta projeção, como mostrado na figura 67, há o “rebaixamento” das chamas, ocupando toda a abertura e dificultando ainda mais a já deficiente entrada do comburente, o que reflete sobremaneira no comportamento da pluma ejetada e nas temperaturas do interior do compartimento. Isto mostra o controle que a ventilação exerce sobre o incêndio após o *flashover*.



Figura 67: Ensaio sem (a) e com (b) projeção horizontal mostrando o “rebaixamento” das chamas ejetadas pela janela com configuração larga.

7.1.2 Dinâmica das chamas e da pluma através das janelas

Conforme estudado anteriormente, as janelas mais estreitas, com altura e largura semelhantes, afastam, a partir das vergas, as chamas e a pluma dos gases aquecidos da fachada, enquanto as janelas mais largas, com largura consideravelmente maior do que a altura, projetam as chamas e a pluma rentes à parede externa.

Primeiro, este comportamento foi constatado visualmente, apresentando-os na figura 68.

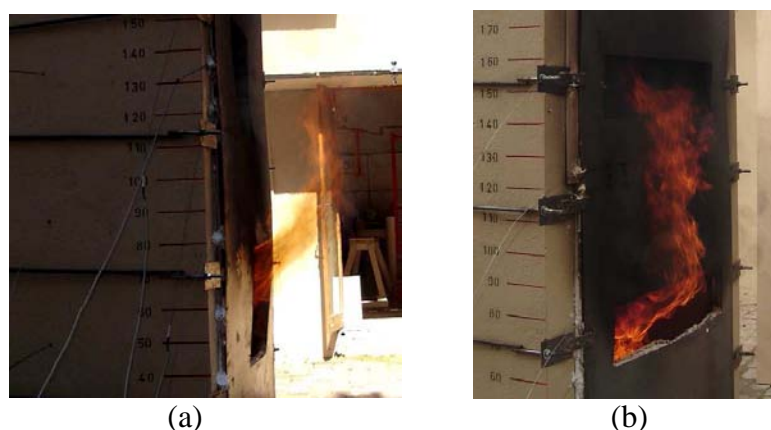


Figura 68: Ensaio mostrando o comportamento das chamas através das aberturas estreita (a) e larga (b).

Em segundo momento, as temperaturas máximas constatadas ao longo da fachada com abertura larga, foram na ordem de 350 °C maiores do que a fachada com aberturas estreitas, devido a este comportamento das chamas, como será mostrado nos gráficos da subseção a seguir.

7.1.3 Eficiência dos afastamentos e das projeções horizontais entre aberturas

7.1.3.1 Risco baixo

A figura 69, apresenta o gráfico dos termopares localizados na parte superior das aberturas (vergas), ordenado com o número 7. Este gráfico mostra as altas temperaturas das chamas e dos gases aquecidos junto à saída da janela, sendo elas semelhantes independentemente da configuração da fachada.

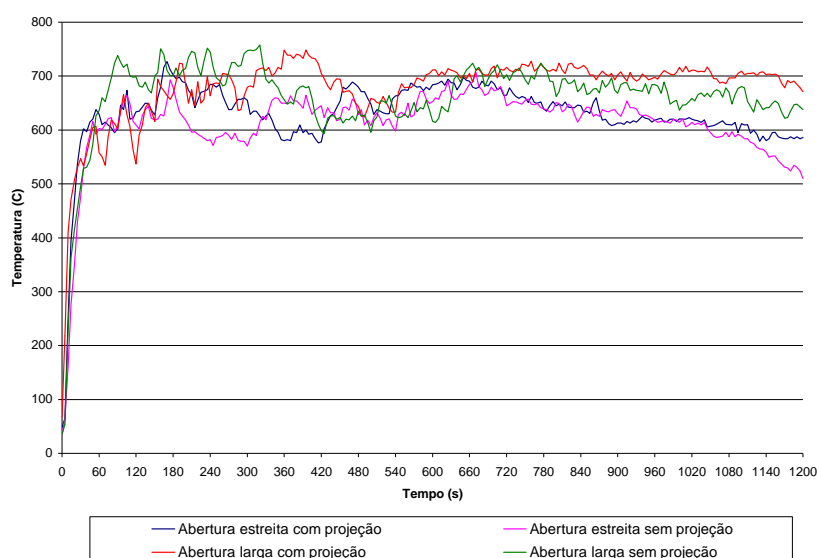


Figura 69: Gráfico das temperaturas na parte superior das aberturas (termopar 7).

Também, os resultados do termopar 4 são apresentados, na figura 70, localizado no interior do compartimento acima consecutivo ao incendiado.

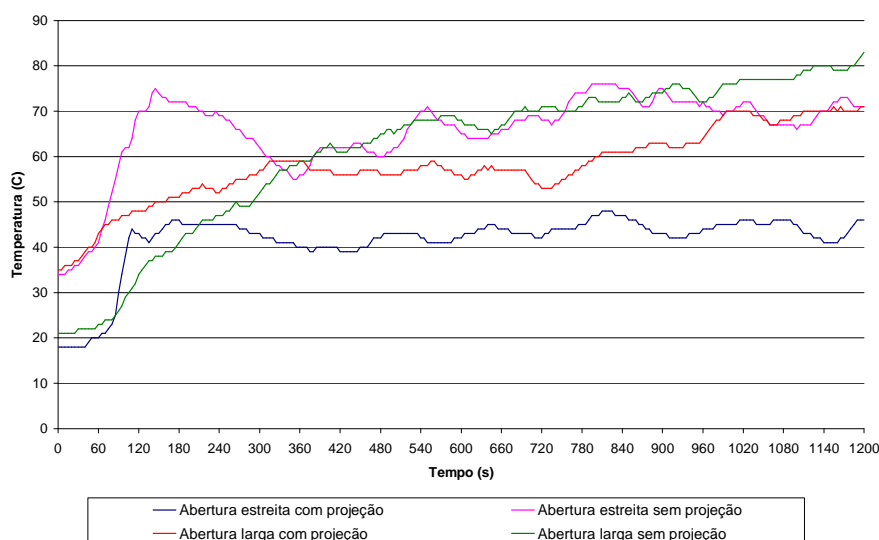


Figura 70: Gráfico das temperaturas no interior do compartimento acima consecutivo ao incendiado (termopar 4).

Este termopar não apresentou em nenhum ensaio temperaturas alarmantes, que devam considerar procedimentos especiais internos, e sim, foram reflexos da entrada da pluma de gases aquecidos e do aquecimento por radiação do piso em contato com o fogo em seu lado oposto, devendo-se concentrar atenção à prevenção contra propagação pela fachada externa e à estanqueidade e isolamento da laje.

As temperaturas junto às fachadas com aberturas estreitas são mostradas na figura 71.

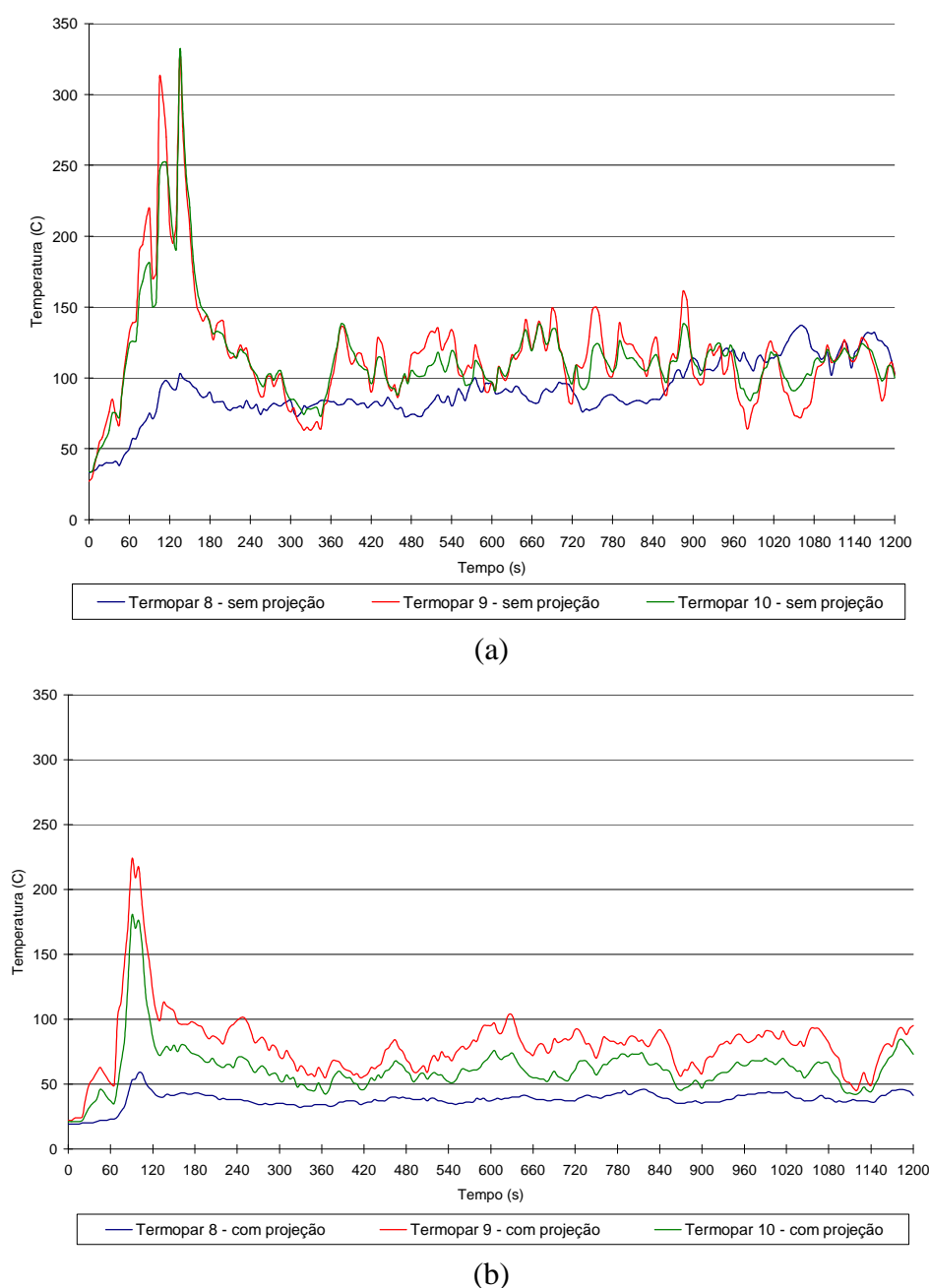


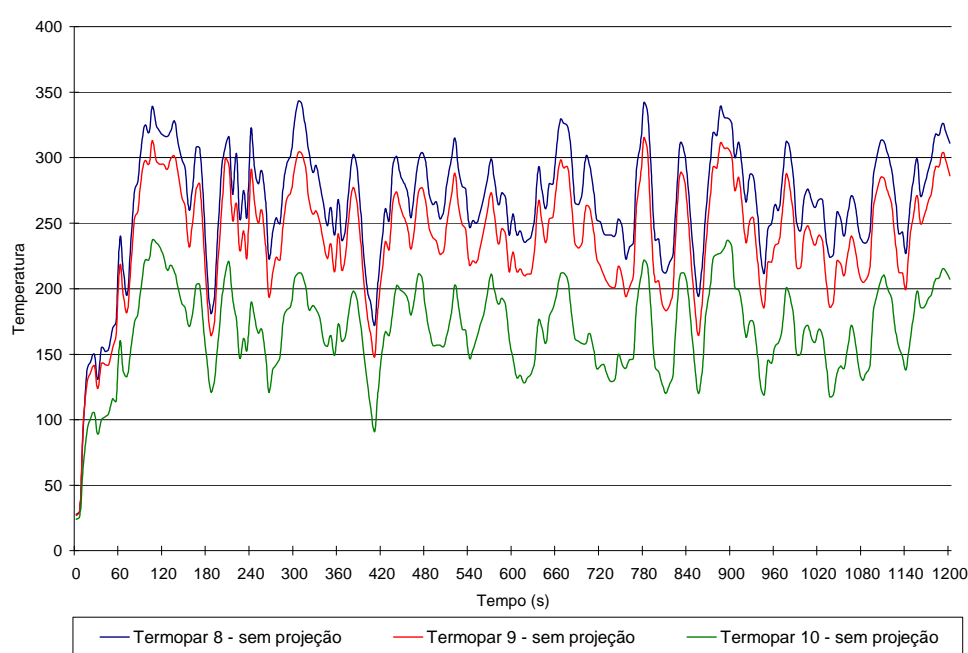
Figura 71: Gráficos das temperaturas ao longo da fachada com aberturas estreitas, acima do compartimento incendiado, para risco baixo, sem (a) e com (b) projeção horizontal (termopares 8, 9 e 10).

As temperaturas ao longo da parede externa acima do compartimento incendiado, em nenhum momento chegaram aos 200°C ou aproximadamente 20 kW/m² necessários para romper os vidros comuns de uma habitação conforme os estudos anteriores, mas os ensaios mostraram que para risco baixo, as projeções são pouco eficientes, mostrando que as temperaturas sofreram uma queda não maior do que 50° C. Salienta-se que devemos considerar as temperaturas a partir de 300 segundos, devido a ignição do líquido inflamável prevista para início dos ensaios.

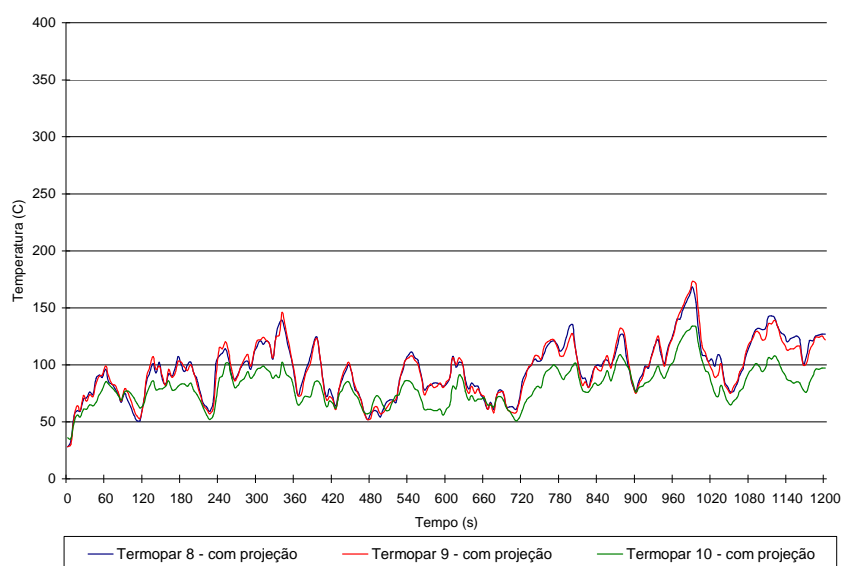
Esta redução poderia ao menos evitar a pirólise de algum material próximo à janela como cortinas caso os vidros estivessem abertos.

No entanto, os gráficos da figura 72 mostram que para fachadas com aberturas largas, que projetam suas chamas e sua pluma rentes à parede externa, as temperaturas facilmente alcançaram o limite de risco. O afastamento de 40 cm (1,20 metros em escala real) e de 47 cm (1,40 metros em escala real) não reduziram as temperaturas suficientemente, enquanto o termopar mais afastado, a 73 cm (2,2 metros em escala real) da verga inferior, ao centro da abertura acima consecutiva, esteve no limiar da temperatura de ruptura dos vidros.

A projeção horizontal neste caso mostrou relevante eficiência, reduzindo as temperaturas para patamares mais seguros, mas com a ressalva de que poderia ignir cortinas por exemplo, caso os vidros estivessem abertos, ou ainda danificar persianas plásticas.



(a)

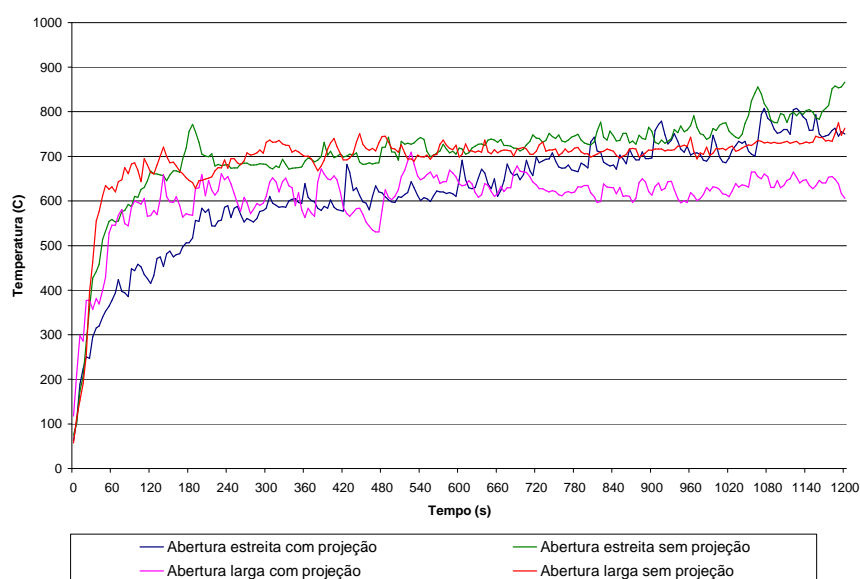


(b)

Figura 72: Gráficos das temperaturas ao longo da fachada com aberturas largas, acima do compartimento incendiado, para risco baixo, sem (a) e com (b) projeção horizontal (termopares 8, 9 e 10).

7.1.3.2 Risco médio

A partir da verificação das temperaturas da parte superior da abertura do compartimento incendiado (termopar 7), mostradas na figura 73, estas permaneceram semelhantes, com um sensível destaque à abertura larga com projeção horizontal que apresentou temperaturas um pouco mais baixas após o *flashover*, provavelmente pela redução no fornecimento de ar.



Figuras 73: Gráfico das temperaturas na parte superior da abertura do compartimento incendiado (termopar 7).

Como elucidado na figura 74, no interior do compartimento superior ao incendiado, houve crescente e relevante aumento de temperatura a partir da mudança de fase do incêndio, nos casos dos ensaios sem projeções horizontais, denotando maior preocupação.

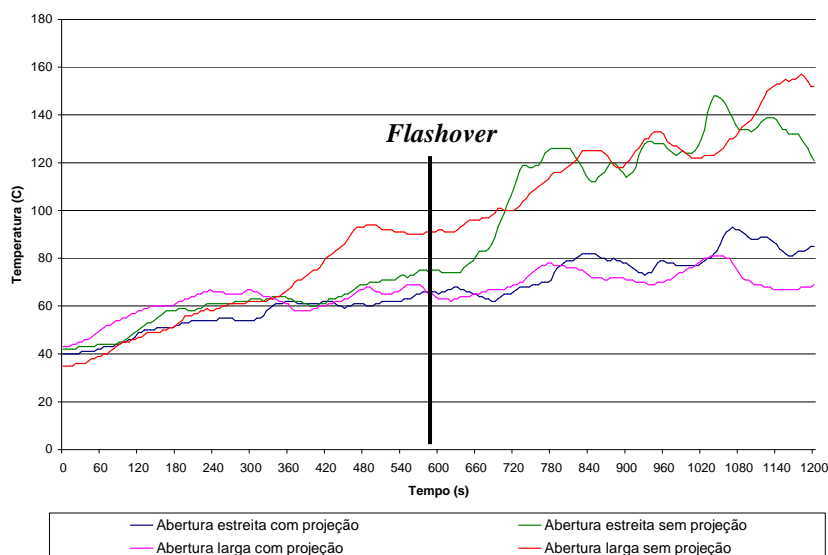
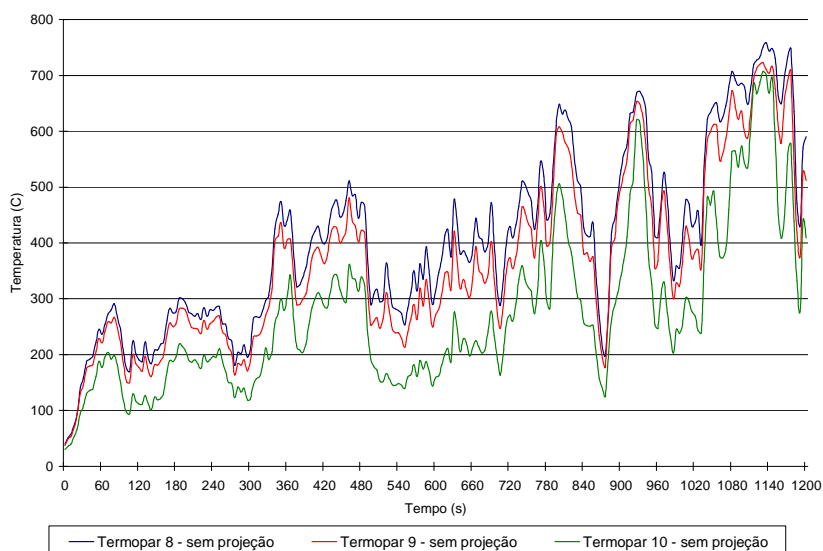
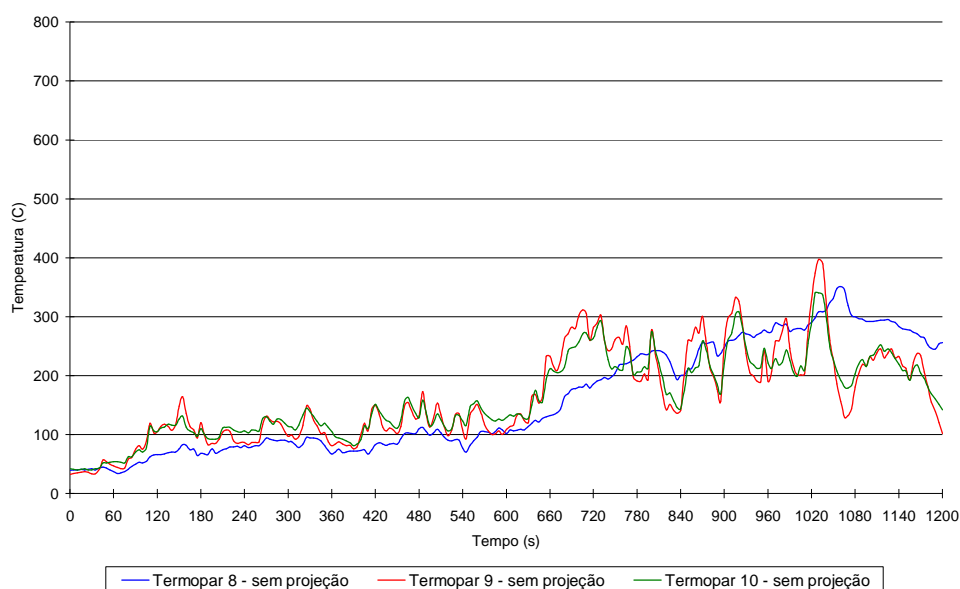


Figura 74: Gráfico das temperaturas no interior do compartimento acima consecutivo ao incendiado (termopar 4), marcando aproximadamente a mudança de fase do incêndio (*flashover*).

Os afastamentos sem projeção horizontal em ambos os casos não apresentaram resultados satisfatórios à segurança, conforme gráficos apresentados na figura 75, sendo que a fachada com aberturas largas obtiveram temperaturas muito elevadas mesmo em ambiente externo, durante todo o tempo de ensaio, justamente pela sua dinâmica de manter as chamas e gases quentes junto à parede.



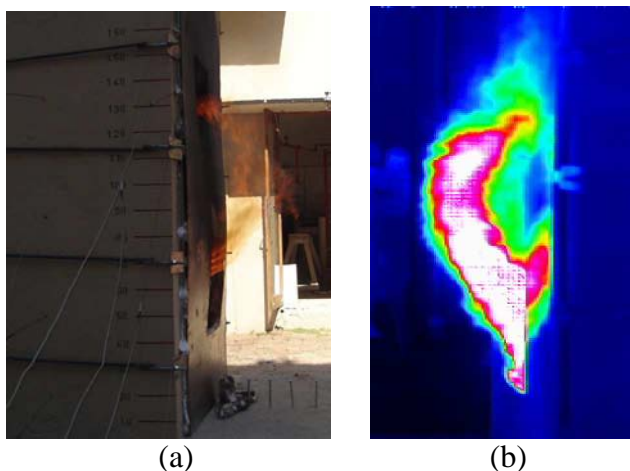
(a)



(b)

Figuras 75: Gráfico das temperaturas ao longo das fachadas acima do compartimento incendiado, sem projeções horizontais, com aberturas largas (a) e com aberturas estreitas (b) - Termopares 8, 9 e 10.

Para a fachada com as aberturas estreitas, os riscos consideráveis foram atingidos após o *flashover*, como também resta provado o afastamento das chamas ao saírem das janelas, pois as temperaturas do termopar localizado no peitoril da abertura superior (termopar 8), tiveram uma taxa de elevação e valores menores, mostrando juntamente com a figura 76, que a partir do termopar 9, distante verticalmente 62 cm da verga da abertura inferior, a pluma volta a ficar rente à fachada, reduzindo um pouco logo a seguir, no termopar 10.

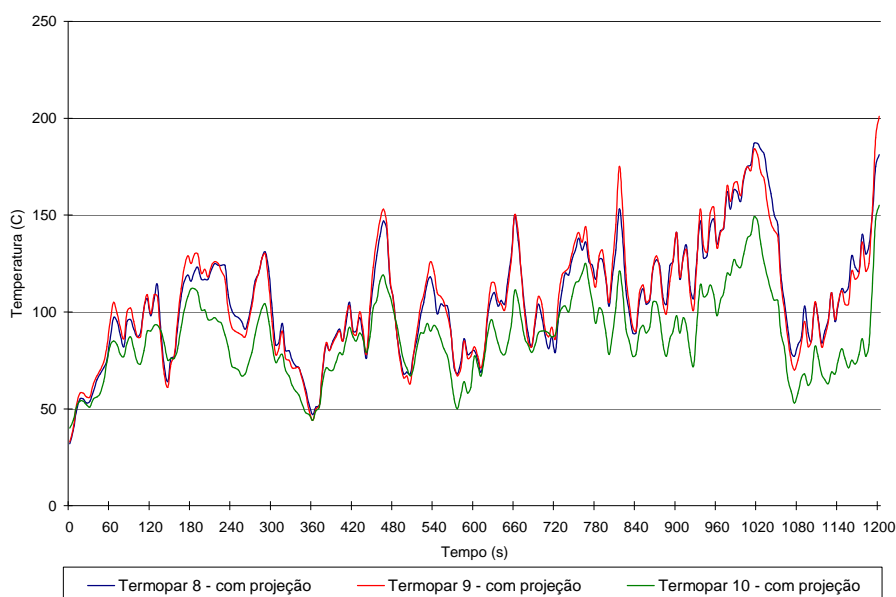


(a)

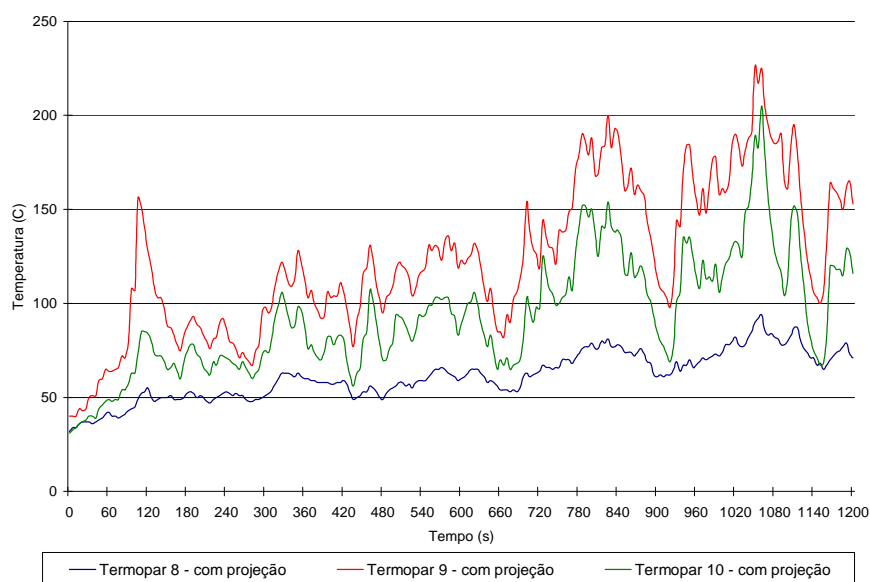
(b)

Figuras 76: Retorno da chama rente à parede externa da fachada (a), ao centro da janela superior, com as aberturas estreitas, e sua respectiva termografia (b).

Como mostrado na figura 77, ainda para fachadas com aberturas estreitas, devido a colocação de projeções horizontais, há um retardo no crescimento das temperaturas, atingindo um nível preocupante 7 minutos após o *flashover*, sendo que sem esta projeção, as mesmas temperaturas foram alcançadas um minuto após a ignição súbita.



(a)



(b)

Figura 77: Gráficos das temperaturas ao longo das fachadas acima do compartimento incendiado, com projeções horizontais, com aberturas largas (a) e com aberturas estreitas (b) - Termopares 8, 9 e 10.

Nota-se também, que a projeção horizontal aliada à dinâmica da pluma devido a geometria da janela, formam uma excelente proteção da região próxima às projeções, demonstrada pelo

termopar 8. Com aberturas mais estreitas, sacadas estariam protegidas, sem a necessidade de vidros especiais para dispor tempo suficiente para a retirada dos habitantes, desde que tenham o cuidado com a parte superior da abertura, considerada a mais crítica, onde existindo materiais de fácil ignição, devido ao retorno das chamas e dos gases aquecidos, estes podem reduzir o retardo da propagação.

Com as aberturas largas, a eficiência da inserção de projeções é bem maior, devido a tendência das chamas em saírem rentes à parede, havendo uma redução média de temperatura na ordem de 500°C, atingindo níveis seguros durante todos os ensaios, conforme figuras 75 e 77 . Daí, percebe-se a imprescindibilidade deste sistema para edificações que possuam seus pavimentos inteiros sem as devidas compartimentações internas, pois estes formam uma janela única e larga, como mostrado na figura 78, relativo ao incêndio ocorrido em 2005 na sede do INSS em Brasília.



(a)



(b)

Figuras 78: Interior da sede do INSS, mostrando as divisórias existentes (a), e a configuração da janela de um andar atingido pelo incêndio (b) (Arquivo do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal).

A melhor forma de reduzir o risco à propagação do fogo, é também compartimentar internamente os pavimentos, de forma a considerar cada economia um compartimento resistente ou corta-fogo, e conseqüentemente, mudar-se-á a configuração das janelas, tornando-as menos largas.

Uma edificação com vários escritórios separados por paredes, reagirá de forma diferente, no que tange ao comportamento da chama e da pluma ejetada pelas janelas, a um prédio de uma mesma firma com pavimentos inteiros apenas separados por divisórias parciais. Deve-se então

salientar, que mesmo com a mesma classificação pela ocupação, as cargas de incêndio neste exemplo modificam-se, passando a risco médio.

O arranjo arquitetônico moderno, as novas tecnologias implantadas, os mobiliários funcionais com madeiras mais leves ou compensados, com inserção de detalhes em plástico, não reduziram as cargas de incêndio e aumentaram a toxicidade da fumaça produzida. Também, devido as características dos escritórios brasileiros, há de analisar separadamente os depósitos e arquivos, onde há um acúmulo de materiais com poder calorífico alto (Assis, 2001).

Ainda, Buchanan (1994) *apud* Bonitese (2007) classifica o mobiliário de madeira leve ou compensado e os móveis com acolchoados como material de rápida a ultra-rápida liberação de calor e taxa de crescimento do fogo.

Então, para risco médio, é incontestável a eficiência da projeção para o retardo da propagação do incêndio, podendo até ser evitado no caso de aberturas largas.

Ainda, a maior proteção da região junto às projeções horizontais podem ser corroboradas com os resultados apresentados com a utilização da termografia. Nas imagens geradas, logo após a ignição súbita generalizada, os pontos marcados como sp1 indicam a temperatura na borda superior da janela, correspondente ao termopar 7 dos demais ensaios. As áreas indicadas como Ar1 e Ar2, mostram a faixa de temperatura do ar abaixo e acima da projeção horizontal respectivamente.

A figura 79 elucida que para aberturas estreitas a redução variou de 728,4°C a 202,6°C junto à parede superior que intersecciona a projeção horizontal.

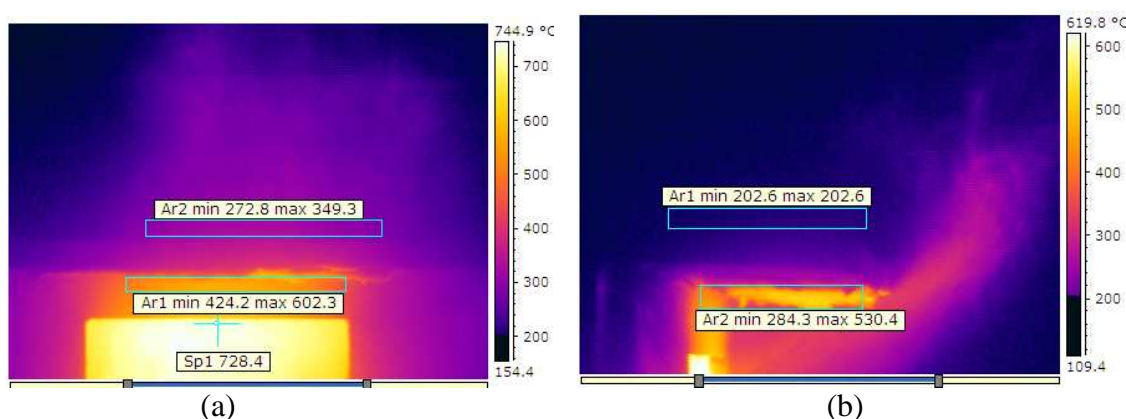


Figura 79: Imagens de termografia, frontal (a) e lateral (b), geradas após o *flashover*, para a fachada com aberturas estreitas e com projeções horizontais.

Nestas mesmas condições, a figura 80 mostra que a variação para abertura larga foi de 613,5°C a 202,6°C, e ainda, junto com a figura 81, comprova que a presença desta projeção diminuiu o comprimento máximo atingido das chamas em relação às aberturas quadradas, denotando a razão da maior eficiência.

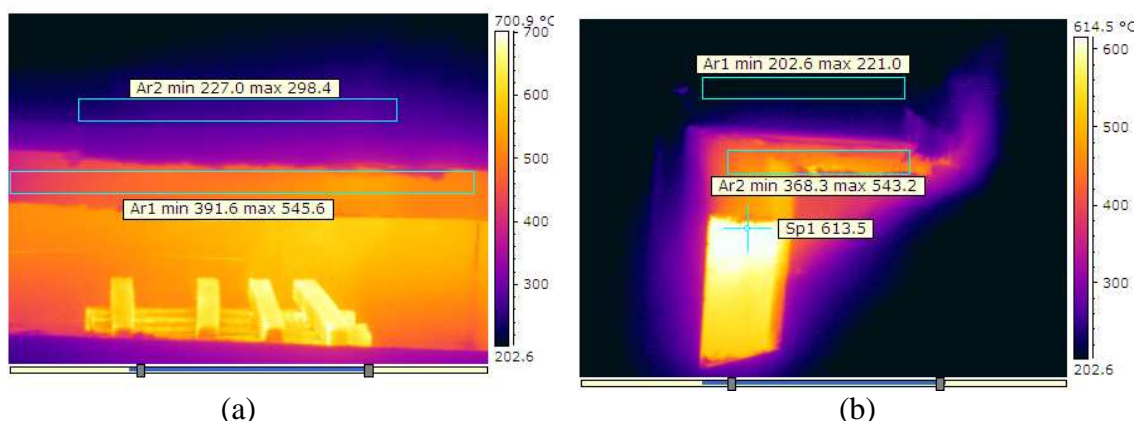


Figura 80: Imagens de termografia, frontal (a) e lateral (b), geradas após o *flashover*, para a fachada com aberturas largas e com projeções horizontais.

Salienta-se que as imagens frontais apresentam temperaturas um pouco maiores, pois o equipamento realiza a verificação a partir da primeira superfície mais aquecida, ou seja, neste caso é apresentada diretamente as temperaturas da chama e da pluma dos gases aquecidos, enquanto lateralmente, mostra também a temperatura do ar quente do entorno.

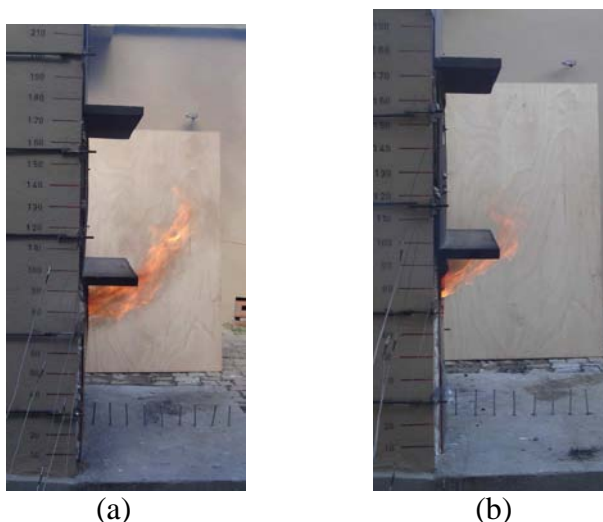


Figura 81: Ensaios para risco médio com abertura estreita (a) e larga (b), com projeção horizontal, evidenciando os comprimentos máximos das chamas atingidos após o *flashover*.

Por fim, os termopares a e b das simulações utilizando o FDS 5, localizados abaixo e acima da projeção horizontal, de acordo com a figura 82, apresentaram as temperaturas médias da parte inferior similares aos ensaios em escala reduzida, mas as temperaturas médias da parte superior foram muito menores. Contudo, o comportamento de proteção aos compartimentos superiores ficou evidenciado.

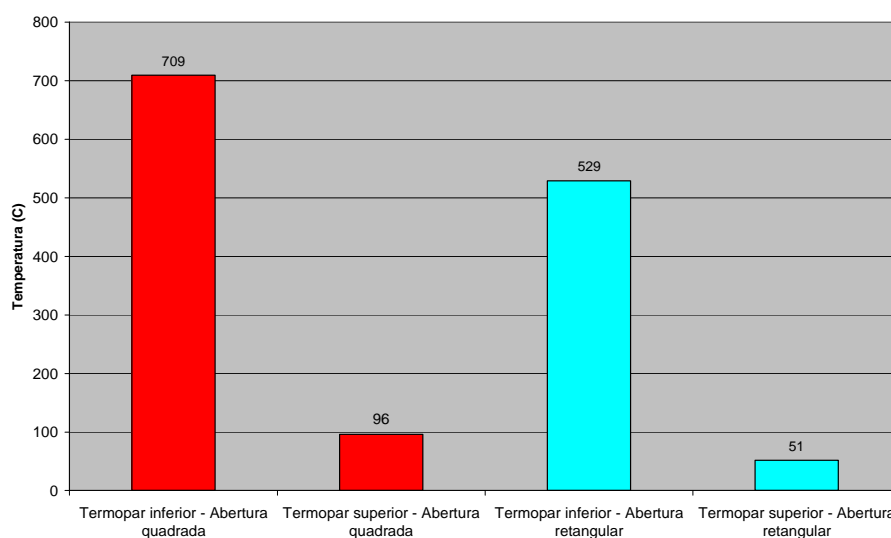


Figura 82: Gráfico das médias das temperaturas alcançadas na parte inferior e superior das projeções horizontais, com aberturas estreitas e largas, para risco médio, através da simulação com o FDS 5.

7.2 ANÁLISE COMPARATIVA POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIO (FDS 5)

7.2.1 Análise da dinâmica do incêndio para risco baixo

Para a análise comparativa entre os valores verificados nos ensaios em escala reduzida com os vistos na simulação computacional de incêndio, foi necessário primeiramente identificar o momento em que é atingida a taxa máxima de liberação de calor. Os valores então são comparados com o segundo minuto de simulação no FDS 5, no qual a carga de incêndio é plena.

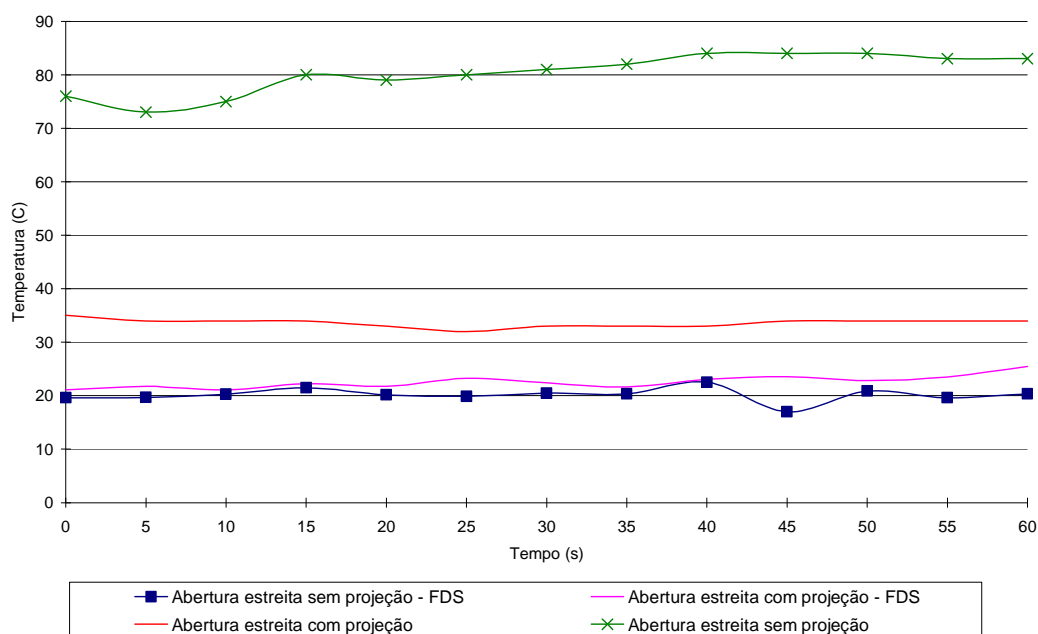
Para as simulações em risco baixo, esta identificação foi de difícil visualização, já que não havia a transição de fases do incêndio, devendo então, realizar uma análise comportamental.

Daí, verificou-se semelhança comportamental a partir dos 300 segundos, quando o líquido inflamável de ignição era totalmente consumido e o engradado de madeira estava envolvido pelas chamas.

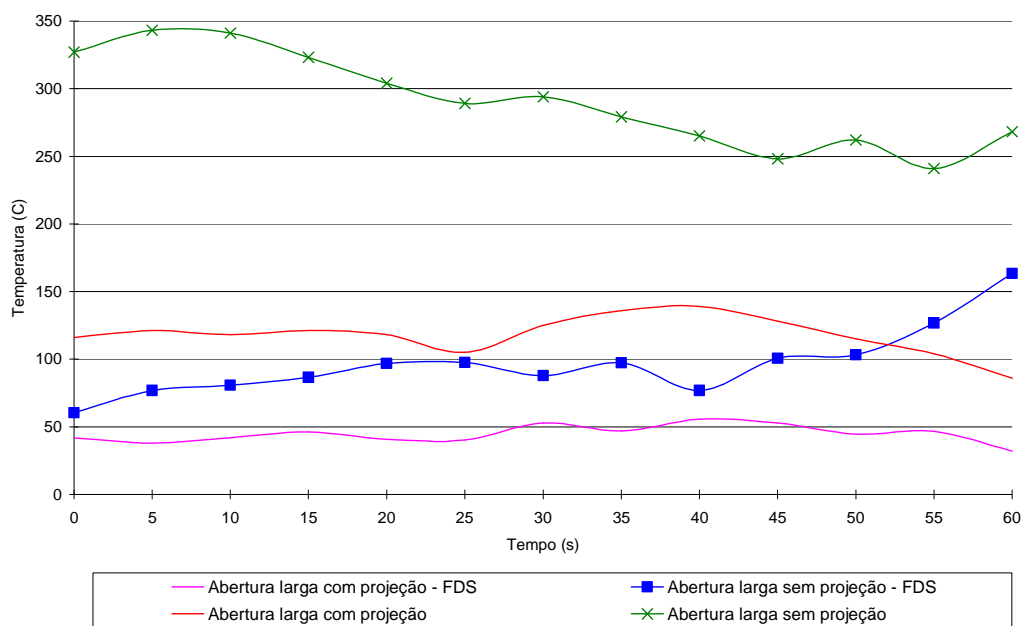
Tanto nos ensaios em escala reduzida quanto nas simulações computacionais, as temperaturas estavam relativamente baixas, mas devido a esta dificuldade de identificação dos instantes das taxas máximas de liberação de calor, bem como a interação dos ensaios com o ambiente, os valores informados pelos termopares do FDS 5 subestimaram as temperaturas de campo, e não predizeram claramente a eficiência do sistema de compartimentação, como mostrado nas figuras 83 a 85.

Os valores dados puntualmente pelos termopares não informaram de forma fidedigna o comportamento do fogo.

No entanto, analisando as camadas de temperatura ao longo do tempo (*slices*), pode-se estimar certamente a dinâmica do incêndio e a eficiência do sistema, o que será explicado a seguir.

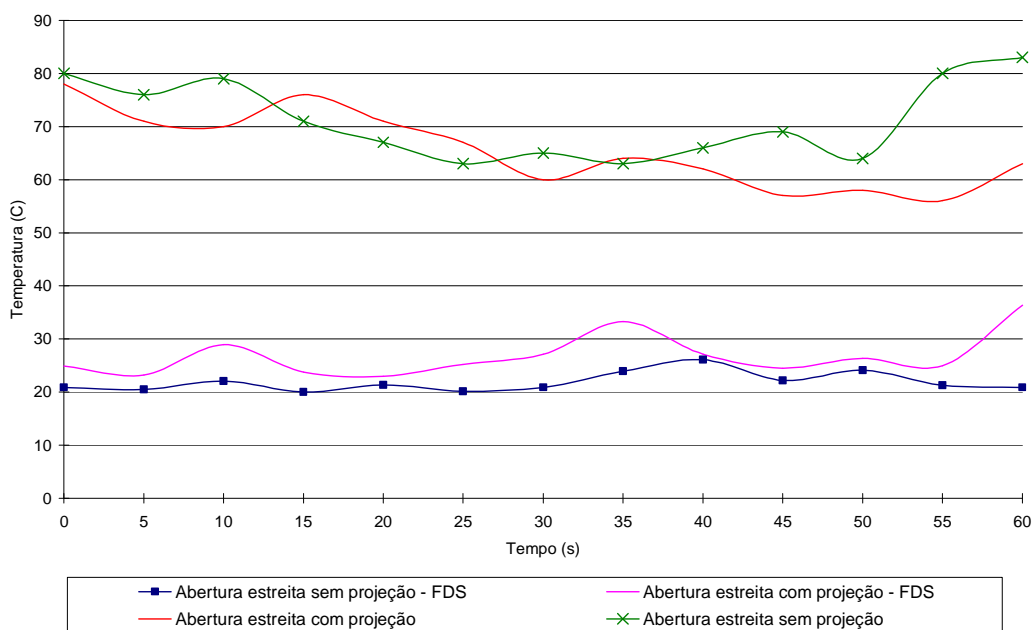


(a)

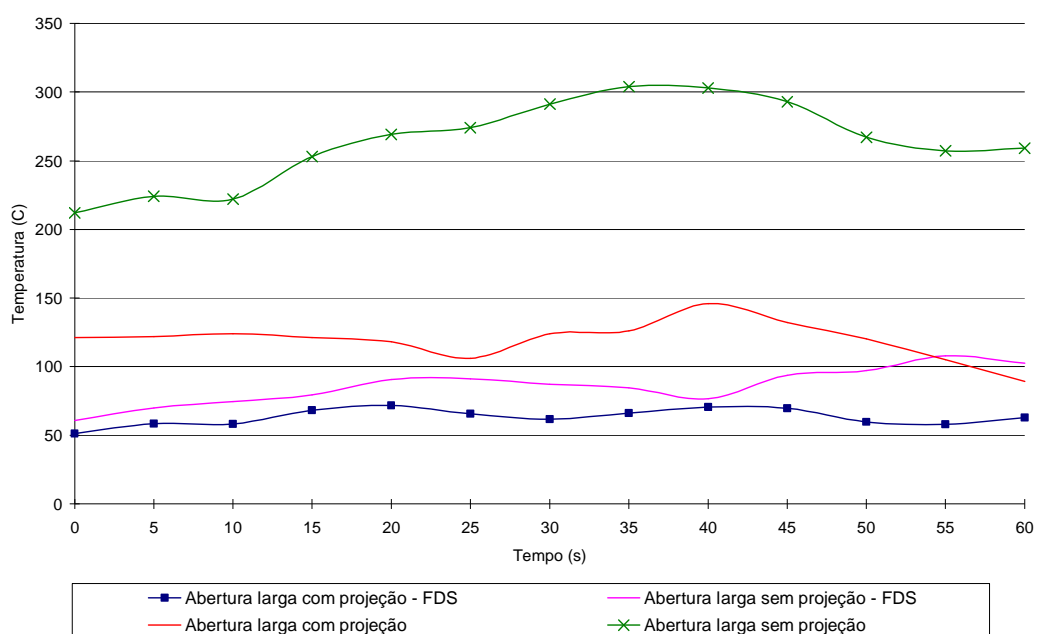


(b)

Figura 83: Gráficos comparativos entre ensaios em escala reduzida e simulações do FDS 5, termopar 8, risco baixo, com aberturas estreitas (a) e largas (b).

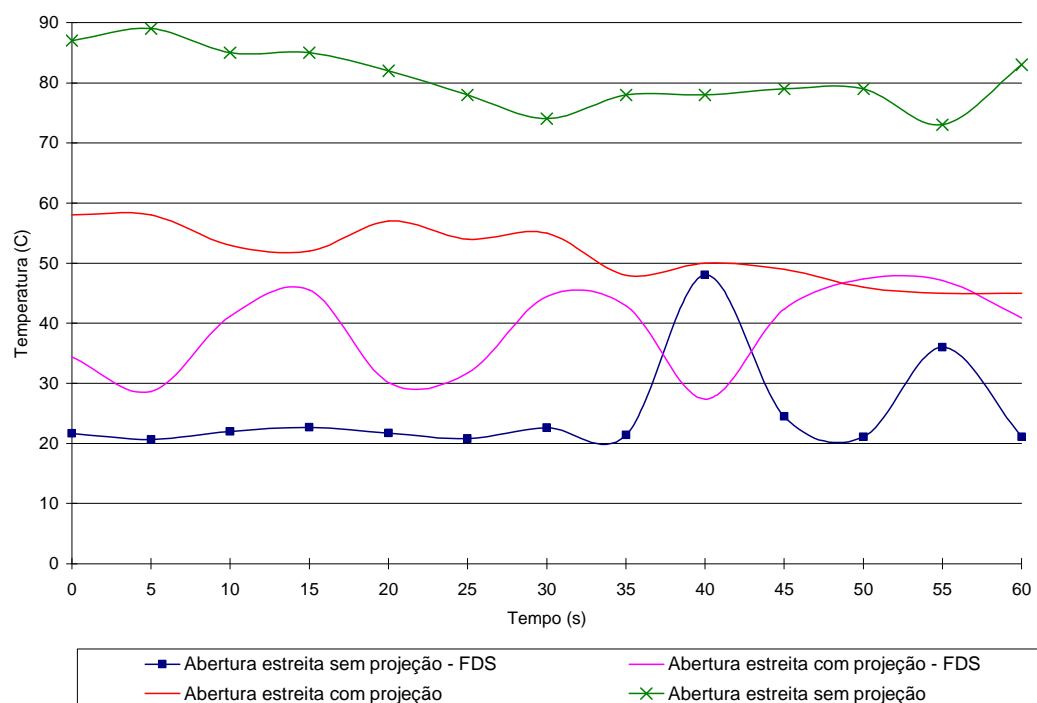


(a)

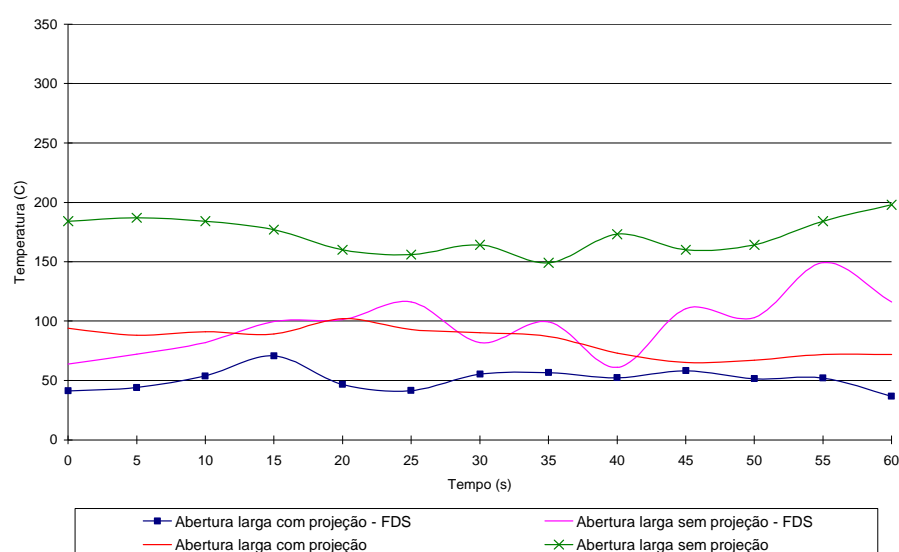


(b)

Figura 84: Gráficos comparativos entre ensaios em escala reduzida e simulações do FDS 5, termopar 9, risco baixo, com aberturas estreitas (a) e largas (b).



(a)



(b)

Figura 85: Gráfico comparativo entre ensaios em escala reduzida e simulações do FDS 5, termopar 10, risco baixo, com aberturas estreitas (a) e largas (b).

Como mostrado nas figuras 86 até 89, e explanado na subseção 7.1.3.1, somente a fachada sem projeção horizontal e com aberturas largas apresentou temperaturas acima de 200°C na parede do compartimento superior, sendo bem evidenciado este comportamento. Como não houve chama externa considerável, as temperaturas mostradas são das plumas dos gases aquecidos e suas respectivas trajetórias.

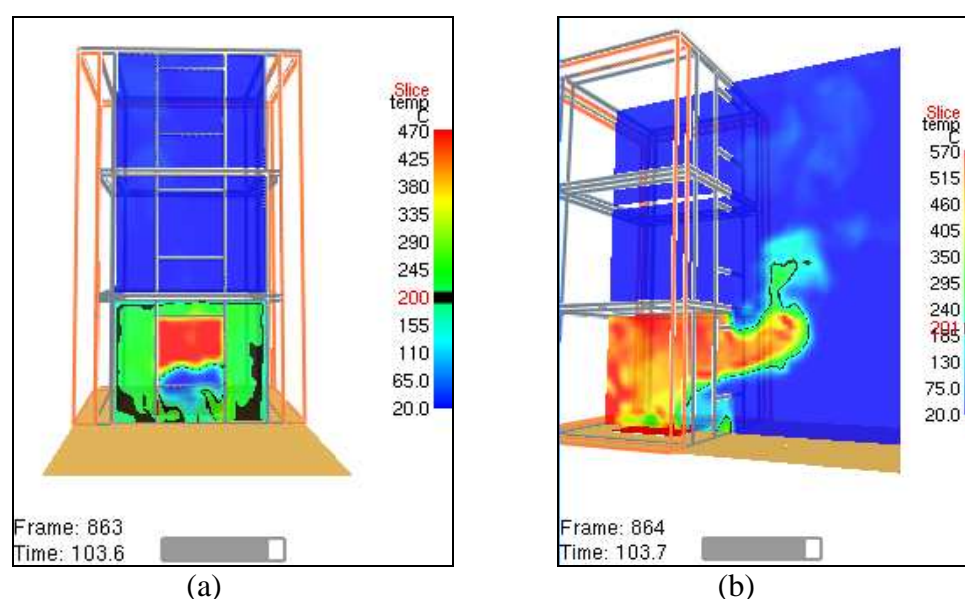


Figura 86: Visualização da simulação no FDS 5, frontal (a) e lateral (b), da fachada sem projeção horizontal, afastamento de 40 cm entre janelas, e com aberturas estreitas.

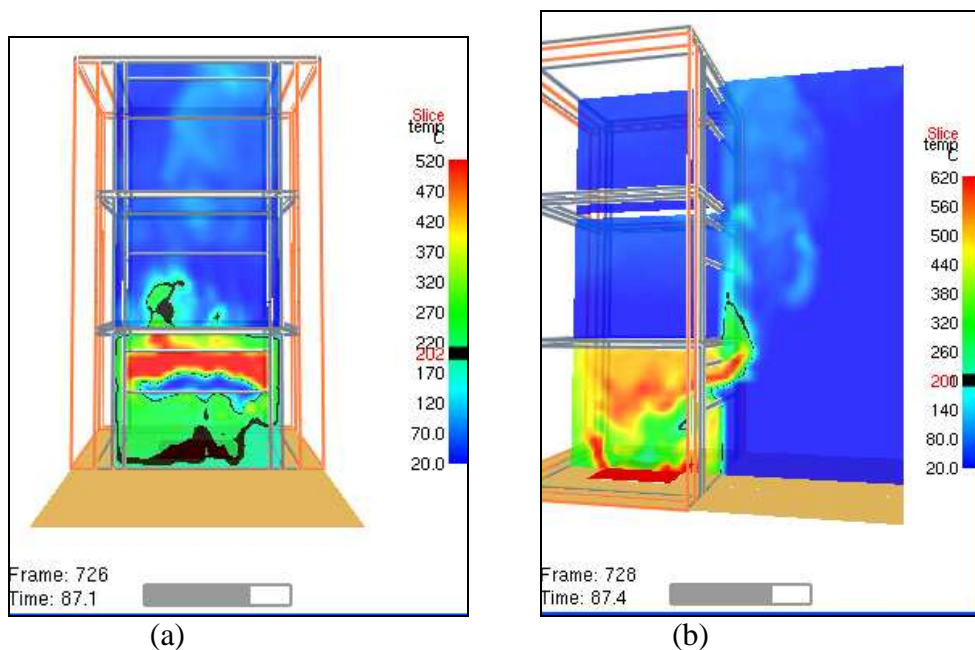


Figura 87: Visualização da simulação no FDS 5, frontal (a) e lateral (b), da fachada sem projeção horizontal e com aberturas largas.

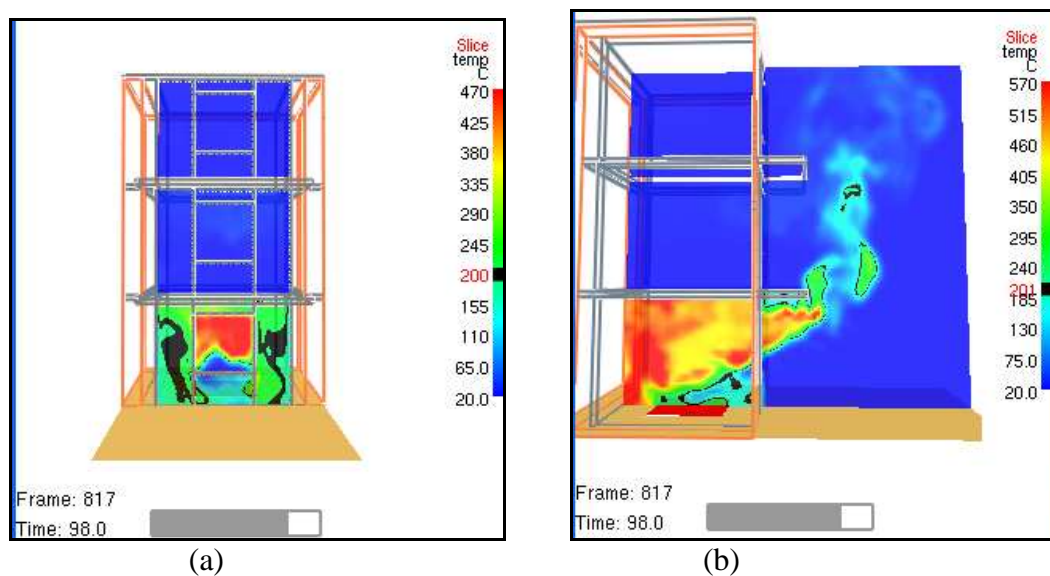


Figura 88: Visualização da simulação no FDS 5, frontal (a) e lateral (b), da fachada com projeção horizontal de 30 cm e com aberturas estreitas.

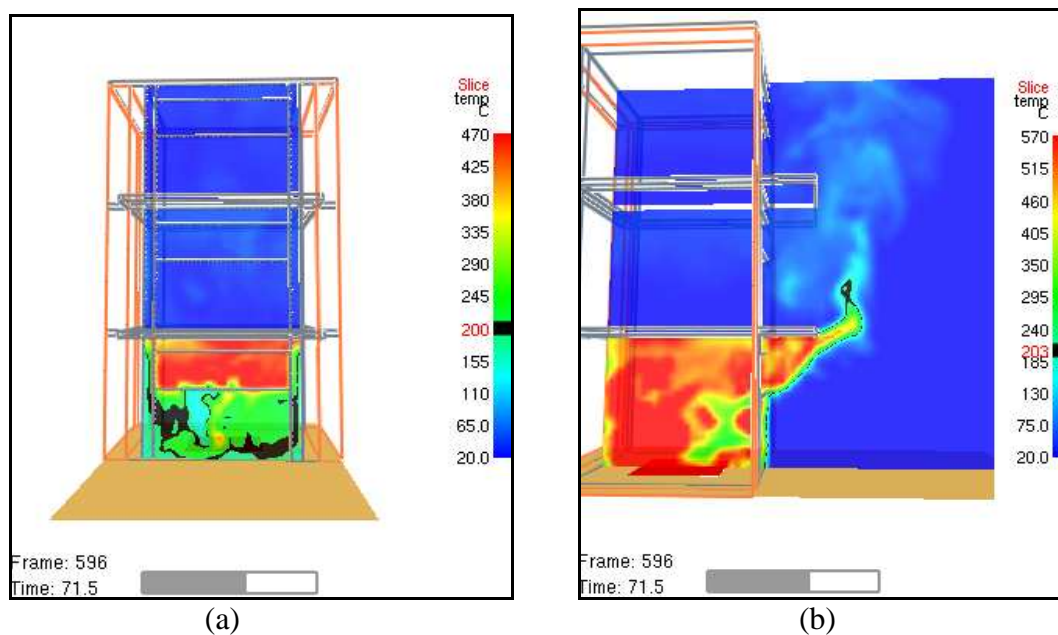


Figura 89: Visualização da simulação no FDS 5, frontal (a) e lateral (b), da fachada com projeção horizontal de 30 cm e com aberturas largas.

7.2.2 Análise da dinâmica do incêndio para risco médio

Diferentemente do risco baixo, houve mudança de fase do incêndio nos ensaios para risco médio, devido ao *flashover*, tornando fácil a identificação das taxas máximas de liberação de calor nos ensaios de campo em escala reduzida.

Foi considerado o minuto seguinte à ignição súbita generalizada, instante em que iniciava o acréscimo das temperaturas, constatado visualmente sempre entre 9 e 11 minutos de queima total.

Então, todos os gráficos comparativos apresentaram similaridade e mostraram claramente a eficiência dos sistemas de compartimentação vertical externa, conforme figuras 90, 91 e 92, possibilitando assim, efetuarmos análises tanto através dos termopares, como das camadas de temperaturas e de taxas de liberação de calor.

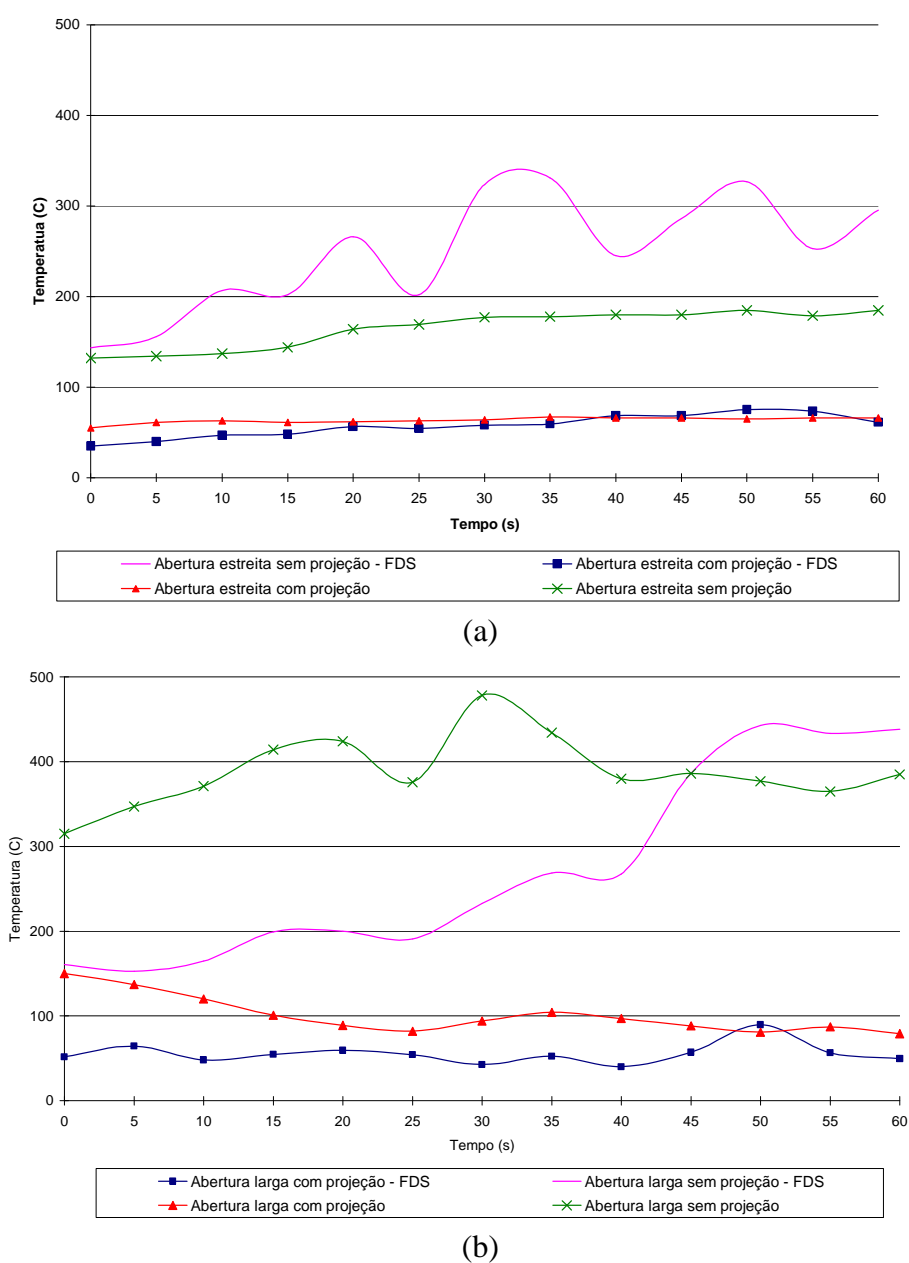
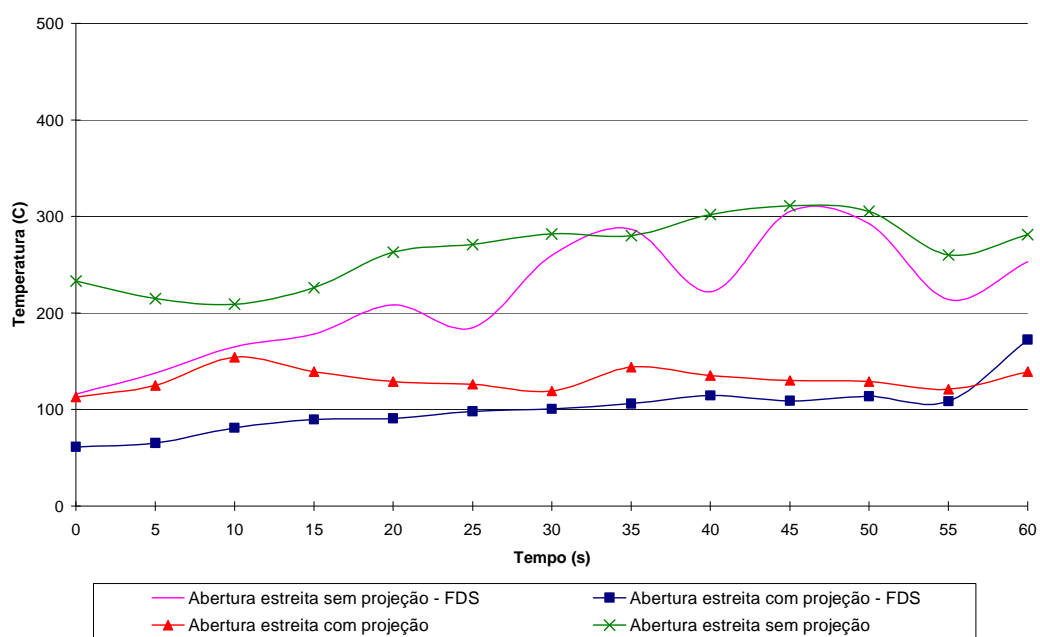
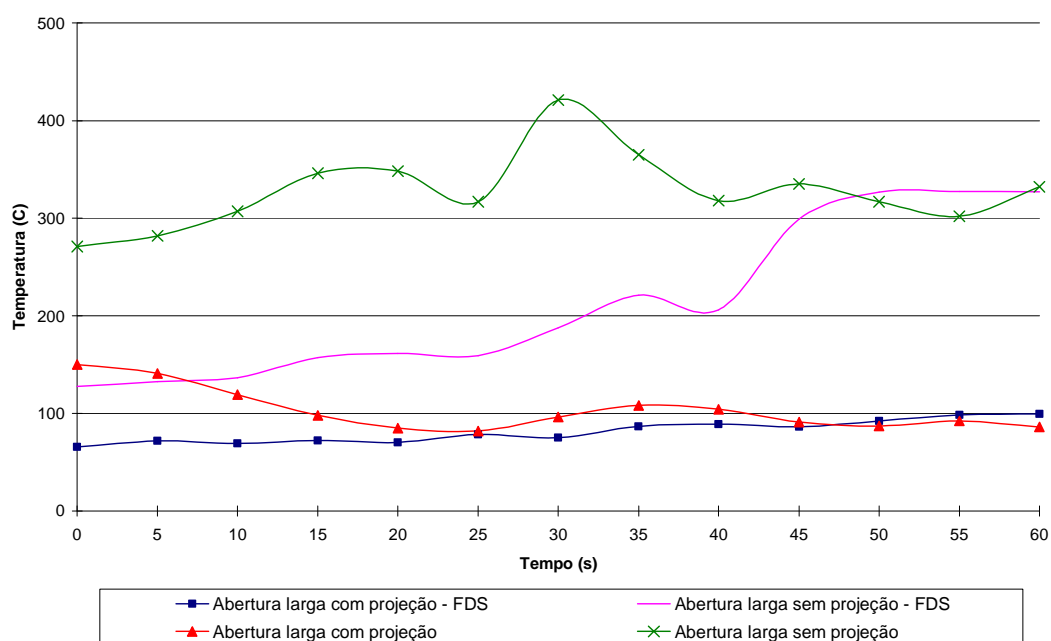


Figura 90: Gráficos comparativos entre ensaio em escala reduzida e simulação do FDS 5, termopar 8, com aberturas estreitas (a) e largas (b).



(a)



(b)

Figura 91: Gráficos comparativos entre ensaio em escala reduzida e simulação do FDS 5, termopar 9, com aberturas estreitas (a) e largas (b).

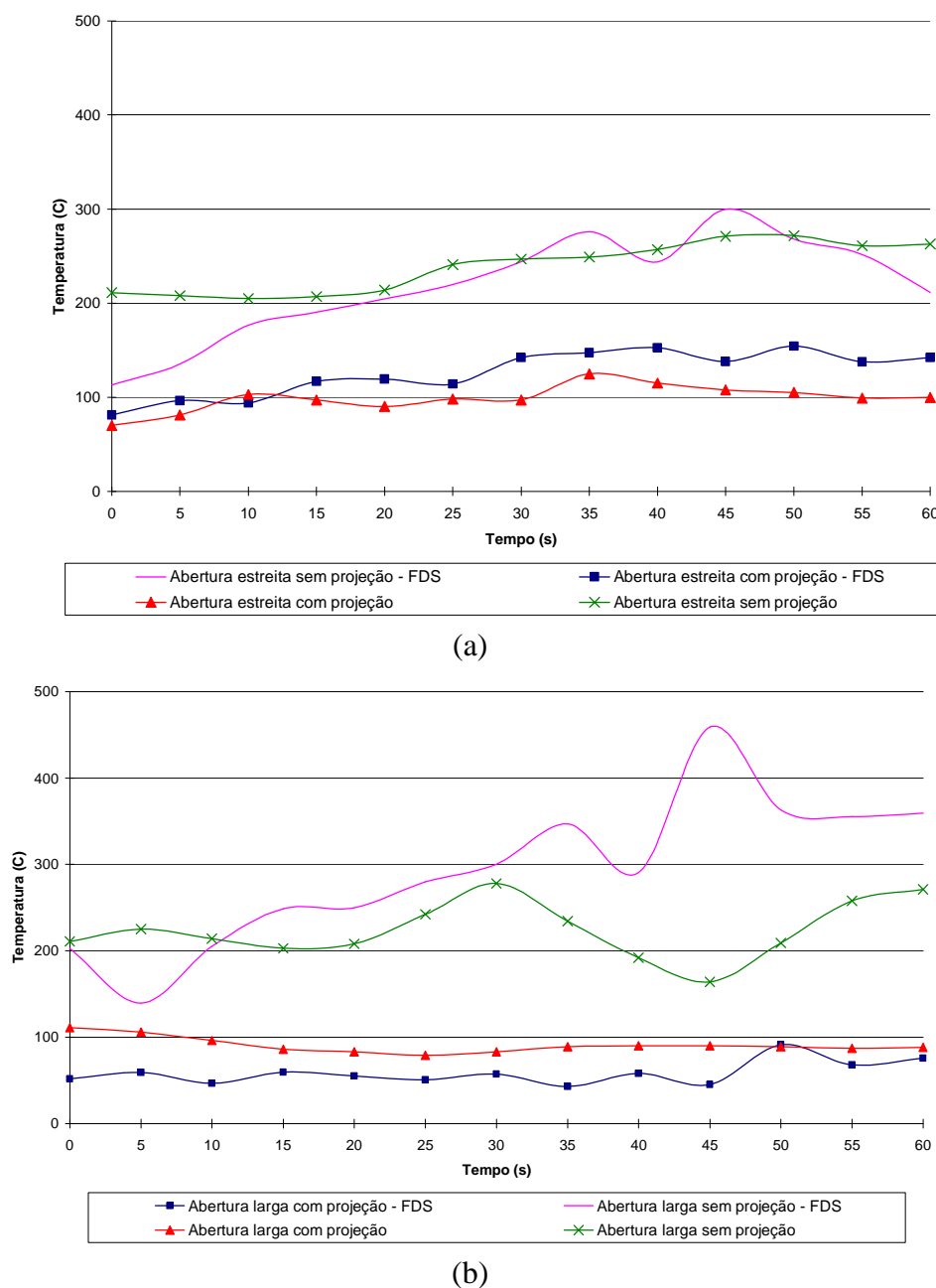


Figura 92: Gráficos comparativos entre ensaios em escala reduzida e simulações do FDS 5, termopar 10, risco médio, com aberturas estreitas (a) e largas (b).

Todas as possibilidades de análise devem ser consideradas, inclusive a avaliação visual da trajetória das chamas através das janelas, como exemplificado na figura 93, e as “slices” de temperatura, figura 94, pois na simulação computacional de incêndio, os gráficos mostraram uma taxa de crescimento maior do que os ensaios de campo, algumas vezes atingindo as temperaturas máximas antes, em outras ficando abaixo do previsto, muito próximo, mas todos tendendo à convergência.

Contudo, as temperaturas foram sempre coincidentes em determinado momento com os ensaios em escala reduzida, e na maioria dos casos, os valores informados pelo FDS 5 compatibilizaram-se com os instantes imediatamente após as ignições súbitas generalizadas.

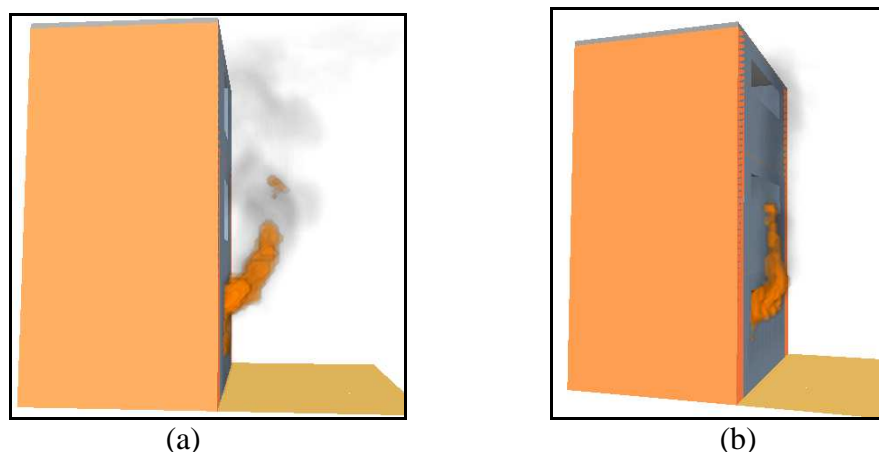


Figura 93: Exemplos de visualização da trajetória das chamas através das aberturas estreitas (a) e largas (b) com a utilização do FDS 5.

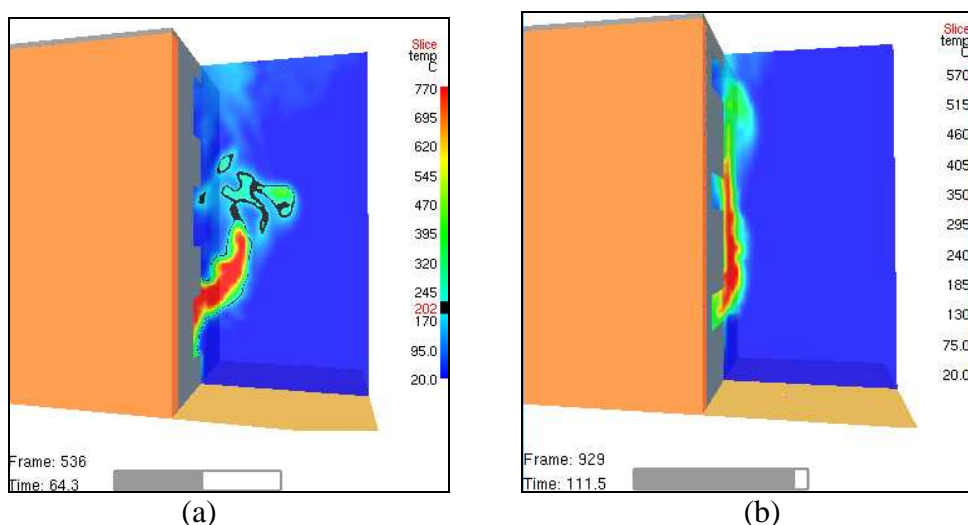


Figura 94: Exemplos de verificação das temperaturas das chamas ao longo de sua trajetória através das aberturas estreitas (a) e largas (b), utilizando “slices” de temperatura do FDS 5.

Ainda, no sentido de ratificar as constatações, as figuras 95 e 96, mostram exemplos das superfícies de taxa de liberação de calor por unidade de volume junto às aberturas. Em sendo 0,035 metro a dimensão de cada célula de cálculo, o valor aproximado de 570 kW/m^3 , corresponde ao valor de 20 kW/m^2 , mínimo suficiente para causar a ruptura dos vidros comuns. Então, vê-se a eficiência da projeção horizontal que reduz significativamente estas taxas.

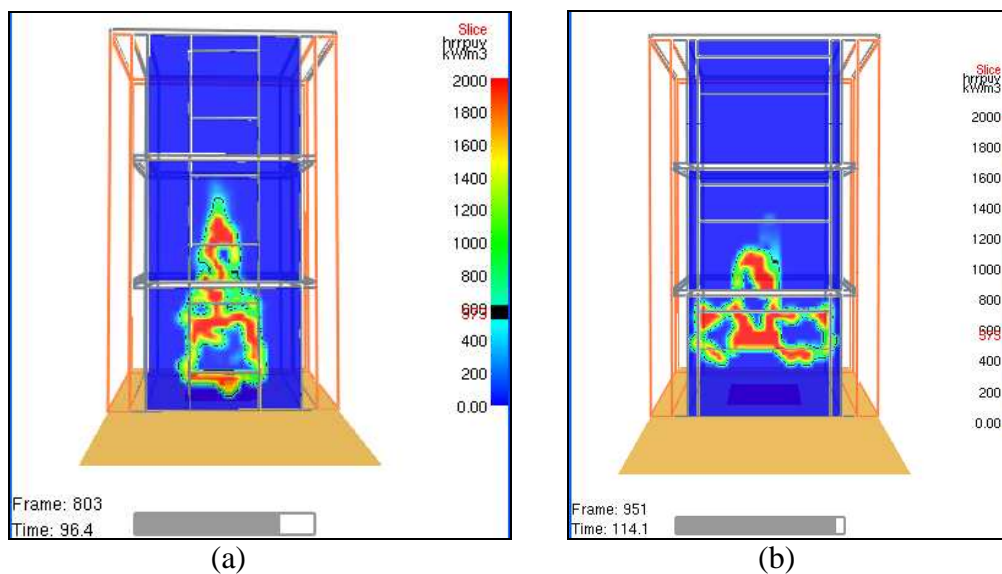


Figura 95: Exemplos de verificação das taxas de liberação de calor por unidade de volume, em função do tempo, das fachadas com aberturas estreitas (a) e largas (b), sem projeção horizontal, utilizando o FDS 5.

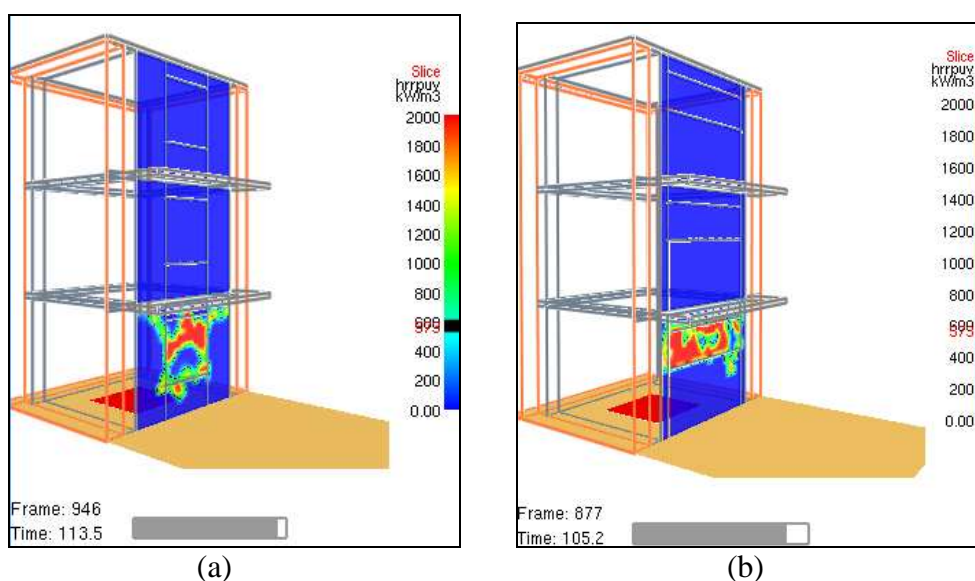


Figura 96: Exemplos de verificação das taxas de liberação de calor por unidade de volume, em função do tempo, das fachadas com aberturas estreitas (a) e largas (b), com projeção horizontal, utilizando o FDS 5.

Assim, o Fire Dynamics Simulator torna-se uma importante ferramenta para auxiliar na avaliação da eficiência do sistema de compartimentação vertical externa em edificações classificadas como de risco médio.

7.3 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL EXTERNA SEGUNDO AS EXIGÊNCIAS NORMATIVAS BRASILEIRAS

Nesta seção, todos os resultados anteriormente apresentados foram analisados, extraíndo-se configurações otimizadas que apresentaram melhores resultados favoráveis à segurança contra a propagação do incêndio através das janelas, segundo as exigências normativas do Brasil para compartimentações externas por meio do afastamento entre aberturas ou de projeções horizontais como prolongamento dos pisos.

7.3.1 Análise da eficiência das configurações para edificações de risco baixo

Conforme explanado no item 7.2.1, as temperaturas verificadas pelos termopares do FDS 5 não apresentaram resultados que pudessem dar certificação às comparações com outros comprimentos de projeção horizontal.

No entanto, a análise qualitativa das superfícies dinâmicas de temperatura relacionadas com os resultados quantitativos e qualitativos dos ensaios em escala reduzida, item 7.1.3.1, fornecem informações conclusivas.

A projeção horizontal de 30 cm (90 cm em escala real) como prolongamento dos entrepisos, independentemente da configuração das aberturas, oferece uma proteção significativa ao compartimento superior.

Sua implantação torna-se imprescindível quando a janela é muito mais larga, pois mesmo com a classificação de risco baixo, nenhum afastamento apresentou resultados que impedissem a propagação do fogo aos materiais adjacentes à abertura. Porém, pode-se afirmar por analogia com o termopar 10 da figura 72(a), distante da verga inferior 73 cm (2,2 m em escala real), que o afastamento de 3 metros entre janelas retarda consideravelmente a propagação, sendo o mais indicado para aberturas largas sem prolongamentos.

O afastamento de 40 cm (1,2 m em escala real), foi o mais otimizado para janelas mais estreitas, mostrando resultados satisfatórios, com temperaturas abaixo das ditas suficientes para quebrar os vidros comuns, podendo retardar o incêndio aos compartimentos superiores.

Ainda, referindo-se a escalas reais, a única configuração que reduziu as temperaturas a patamares totalmente seguros foi a que apresentava as aberturas estreitas com projeção

horizontal de 90 cm, estando o afastamento fixo de 1,2 metros entre janelas. Isto baseado na invariabilidade das temperaturas no interior do compartimento superior, mostrada através do termopar 4, figura 70, podendo-se considerar neste caso que a implantação deste sistema atuou como isolante de risco. Os demais sistemas podem ser considerados como retardantes à propagação do incêndio.

7.3.2 Análise da eficiência das configurações para edificações de risco médio

Como as seções anteriores apresentaram resultados interrelacionados e coerentes para a dinâmica do incêndio em classificação de grau de risco médio, tanto nos ensaios de campo em escala reduzida, quanto nas simulações computacionais, pôde-se estabelecer um comparativo quantitativo entre as configurações dos sistemas de compartimentação vertical externa.

Há que se efetuar primeiramente considerações gerais baseadas nos gráficos apresentados na subseção 7.1.3.2.

Os afastamentos reais entre 1,2m e 1,4 m, com qualquer geometria de abertura, sem projeções horizontais, não apresentaram eficiência no impedimento ou retardo da propagação do calor. A fachada com janelas estreitas apresentou temperaturas mais baixas e taxas de crescimento menores, mesmo assim, elevaram-se a valores críticos rapidamente.

A inserção das projeções horizontais garante um retardo considerável e indispensável à propagação do incêndio classificado como médio, principalmente para aberturas largas, no entanto não pode ser considerado como isolante de risco, pois há um aumento gradativo da temperatura no interior do compartimento acima adjacente, em torno de 2 a 3 °C/min, podendo ignir objetos mais sensíveis ao calor.

Os isolamentos de risco, para as configurações estudadas anteriormente, apenas serão garantidos se existir uma combinação dos afastamentos entre janelas não menor do que 2,5 metros, com a implantação das projeções horizontais.

A fim de otimizar a eficiência e buscar a padronização de uma configuração de fachada mais segura, são apresentadas comparações realizadas entre os cenários de incêndio simulados utilizando o FDS 5, conforme as exigências das normas brasileiras demonstradas na subseção 3.5.

Também, foram elaborados dois cenários diferenciados, mostrados anteriormente nas figuras 61(e) e 61(f), para verificar a eficiência dos afastamentos de 3 metros com a variação interna da altura do pé-direito em relação à abertura, ou seja, a distância entre a verga da janela e a laje superior, ambos com janelas estreitas. O que mostra o FDS 5, por meio do *Smokeview* na figura 97, é que apesar do mesmo distanciamento entre aberturas e igual geometria, o posicionamento delas na fachada em relação ao compartimento, bem como a altura da verga até a laje ou outro elemento compartimentador, modificam completamente a dinâmica do incêndio, sendo isto evidenciado nos gráficos da subseção 7.3.2.1.

As aberturas mais baixas com a distância maior entre a verga da janela e o elemento compartimentador, como encontrado em mezaninos, átrios ou construções mais antigas por exemplo, tendem a dispor de mais oxigênio, e o acúmulo dos produtos da combustão junto ao teto aquecem mais o ambiente, tornando a chama ejetada maior, alcançando a abertura do pavimento acima, que também possui a janela baixa. Esta configuração de cenário será referenciada neste trabalho como pé-direito alto.

Com a distância acima especificada sendo menor e com os peitoris das aberturas mais altos, como em habitações convencionais, os gases e produtos da combustão (fumaça) saem da edificação antes da ignição, bem como limita a entrada de ar para “alimentar” o fogo próximo ao piso, conseqüentemente, há uma diminuição das chamas, e o afastamento entre aberturas é mais eficiente. Esta configuração terá a denominação de pé-direito convencional.

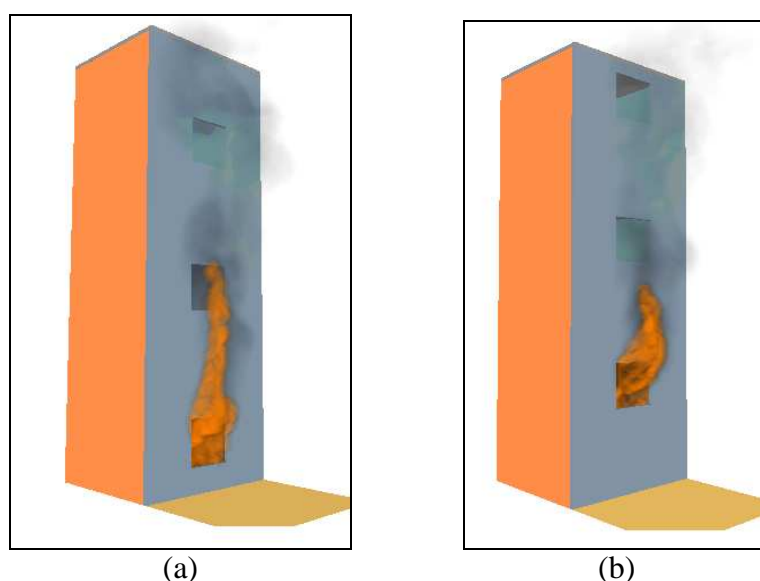
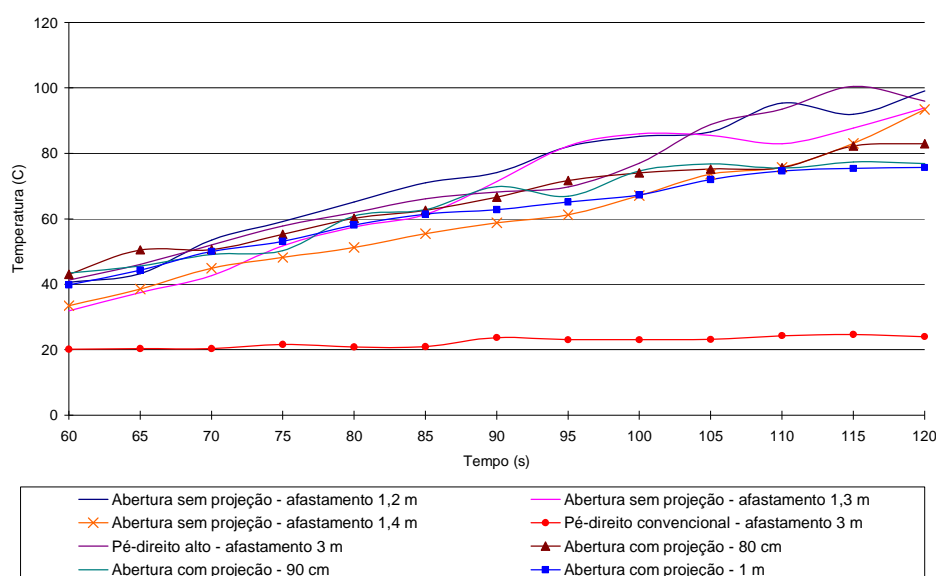


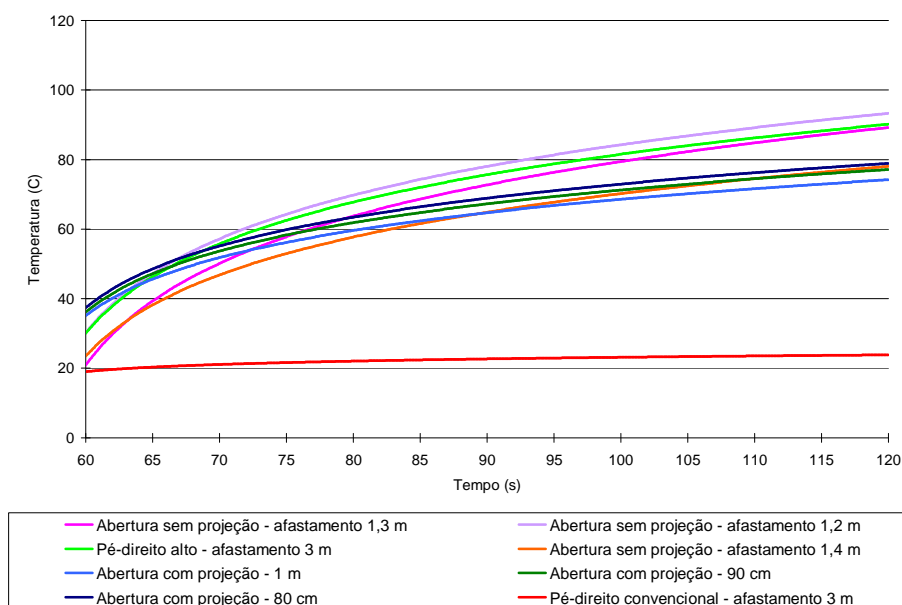
Figura 97: *Smokeview* apresentando diferença no comportamento das chamas para afastamentos de 3 metros, sendo as configurações com pé-direito alto (a), e com pé-direito convencional (b).

7.3.2.1 Eficiência da compartimentação vertical externa para janelas estreitas

O gráfico representativo do termopar 4, localizado no compartimento superior adjacente ao incendiado, figura 98, e suas respectivas linhas de tendência (logarítmicas), para entendimento, mostram o retardo à propagação devido a colocação de projeções horizontais, mas apresenta ainda, que a configuração com pé-direito convencional e afastamento de 3 m, isolaram completamente o risco, não havendo uma variação relevante.



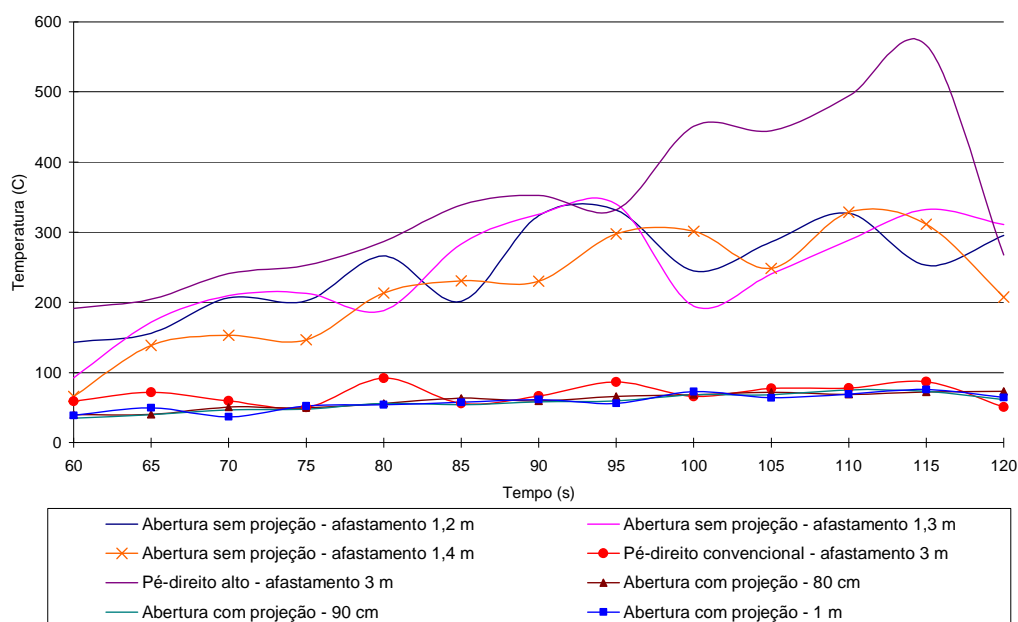
(a)



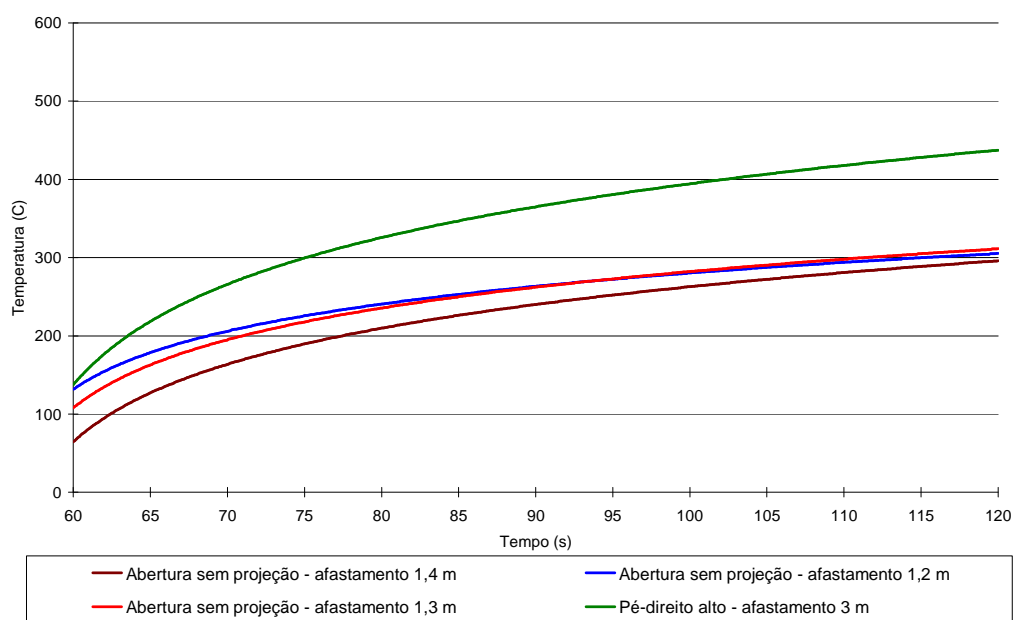
(b)

Figura 98: Gráfico mostrando as temperaturas do termopar 4 para as diferentes configurações de compartimentação externa (a) e as respectivas linhas de tendência (b).

Para melhor análise da eficiência dos afastamentos e das projeções em relação à fachada, são apresentados os gráficos relativos aos termopares 8, 9 e 10, figuras 99 até 101, localizados na parede externa acima do compartimento incendiado, bem como as linhas de tendência das temperaturas mais altas verificadas.

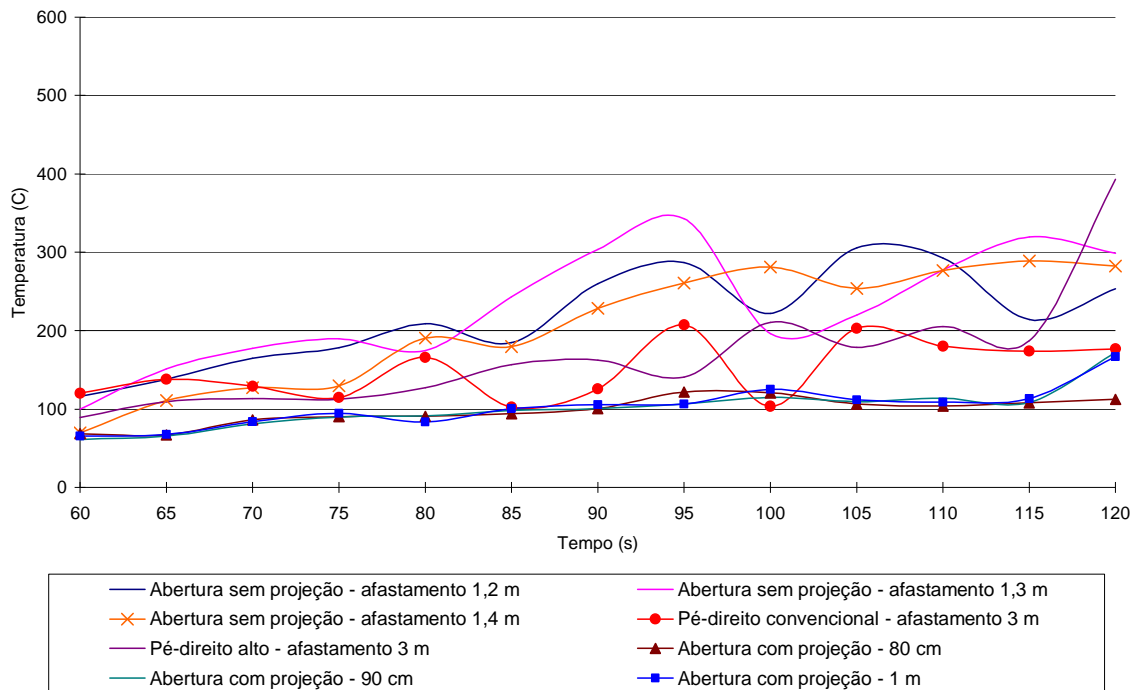


(a)

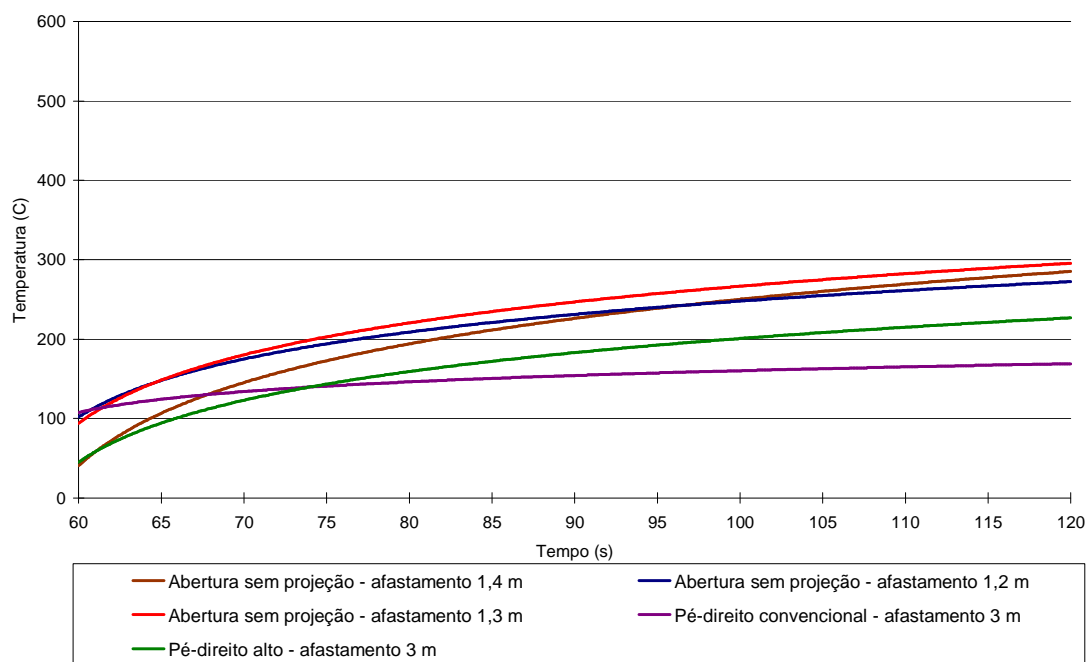


(b)

Figura 99: Gráficos mostrando as temperaturas do termopar 8 para as diferentes configurações de compartimentação externa (a) e as respectivas linhas de tendência (b).

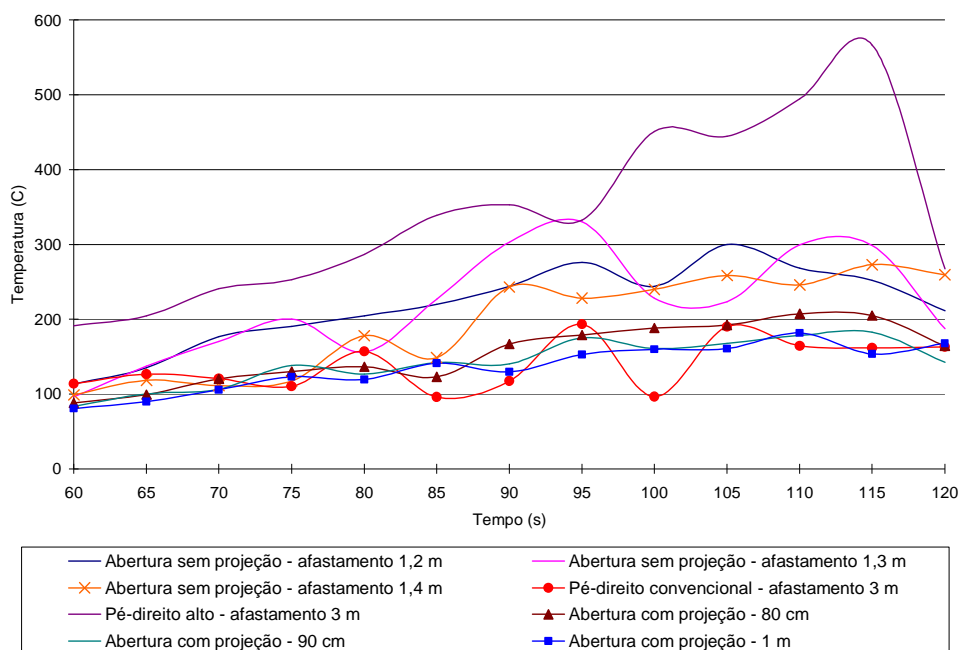


(a)

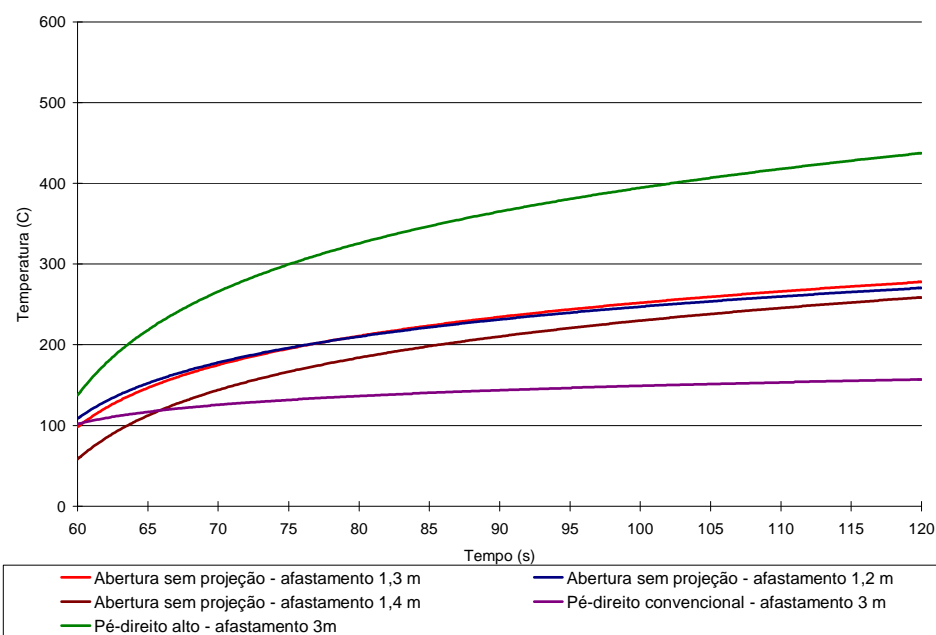


(b)

Figura 100: Gráficos mostrando as temperaturas do termopar 9 para as diferentes configurações de compartimentação externa (a) e as respectivas linhas de tendência (b).



(a)



(b)

Figura 101: Gráfico mostrando as temperaturas do termopar 10 para as diferentes configurações de compartimentação externa (a) e as respectivas linhas de tendência (b).

Nota-se que, através dos afastamentos entre janelas, apenas a configuração com distanciamento de 3 metros, com pé-direito convencional, apresentou resultados totalmente favoráveis, inclusive isolando o risco. Cabendo estudos mais direcionados a esta configuração para sua melhor classificação.

Quanto à inserção de projeções horizontais, todos os comprimentos reduziram as temperaturas a patamares mais seguros e mostraram um retardo na propagação do fogo. No entanto, apesar dos comportamentos muito parecidos, a projeção com extensão de 80 cm permitiu o retorno da fumaça junto à parte superior da abertura (termopar 10), e conseqüentemente o alcance de temperatura suficiente para possível ruptura dos vidros, bem como mostrou um acréscimo maior da temperatura no interior do compartimento superior (termopar 4).

Para as projeções de 90 cm e 1 metro, ambas reduziram favoravelmente as temperaturas externamente em toda a extensão da abertura superior, sendo que a maior projeção mostrou internamente temperaturas um pouco mais baixas. Porém, devido à similaridade comportamental, e objetivando a padronização nacional, resta verificar o custo financeiro e o benefício arquitetônico para escolher qual implantar.

Todos os resultados comprovam que existe uma excelente proteção contra a propagação quanto mais próximo a abertura estiver da projeção horizontal, como sacadas por exemplo, mas é necessário dar atenção quanto à parte superior destas devido ao retorno das chamas e dos gases aquecidos, devendo-se prever proteções adicionais nestas partes ou a não colocação de cortinas ou persianas de fácil ignição.

7.3.2.2 Eficiência da compartimentação vertical externa para janelas largas

Os gráficos apresentados nas figuras 102 a 105 evidenciam o comportamento das temperaturas ao longo do tempo para as diferentes configurações do sistema de compartimentação vertical externa com aberturas largas.

Diante de todos os resultados, em comparação com os dados da subseção 7.1.3.2, os afastamentos entre aberturas, sem projeções horizontais, em nenhum momento apresentaram eficiência satisfatória, não podendo ser considerados como sistema de compartimentação vertical externa aos moldes do que é exigido.

Devido ao comportamento das chamas projetadas rente à fachada, analisadas também com os dados constantes na subseção 7.2.2, as projeções mostraram-se mais eficientes do que para aberturas estreitas, ao passo que o prolongamento de 80 cm já apresentou excelentes resultados para a diminuição da taxa de crescimento da temperatura e conseqüente retardo na propagação do calor.

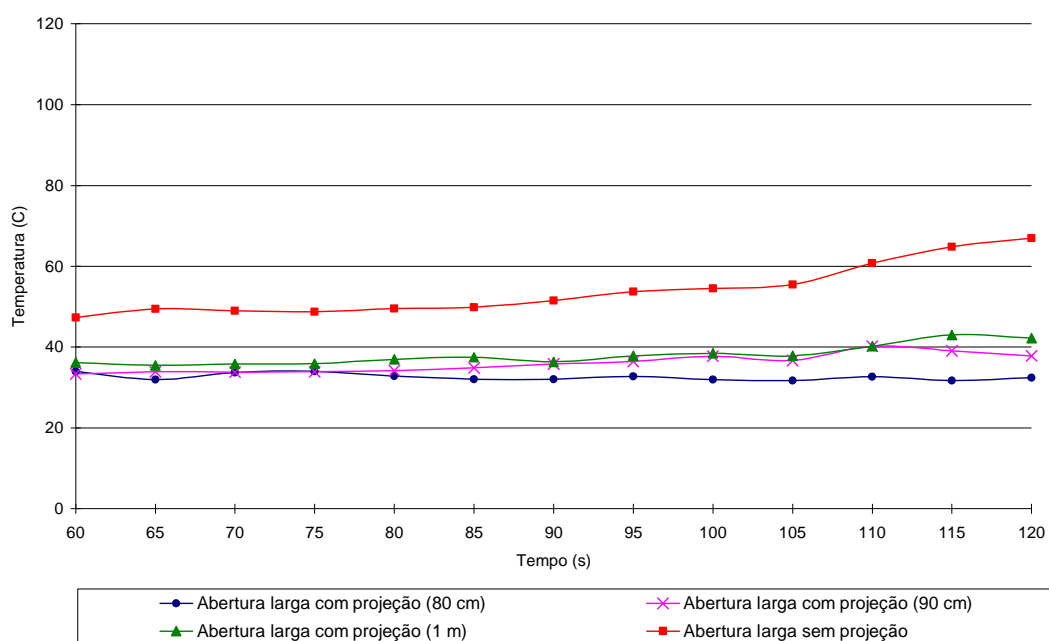


Figura 102: Gráfico mostrando as temperaturas do termopar 4 para as diferentes configurações de compartimentação externa.

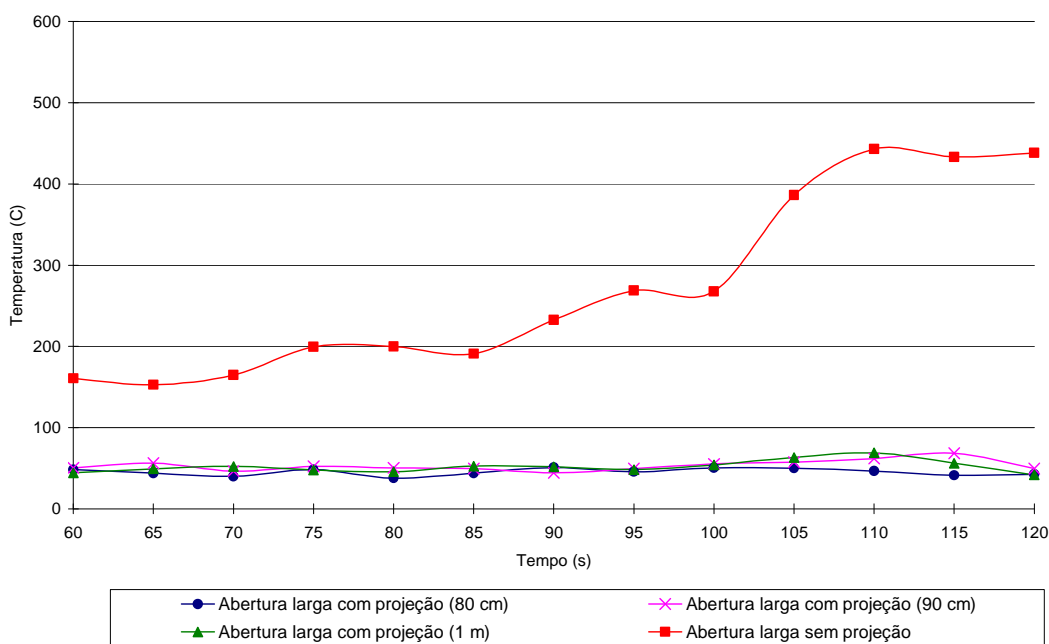


Figura 103: Gráfico mostrando as temperaturas do termopar 8 para as diferentes configurações de compartimentação externa.

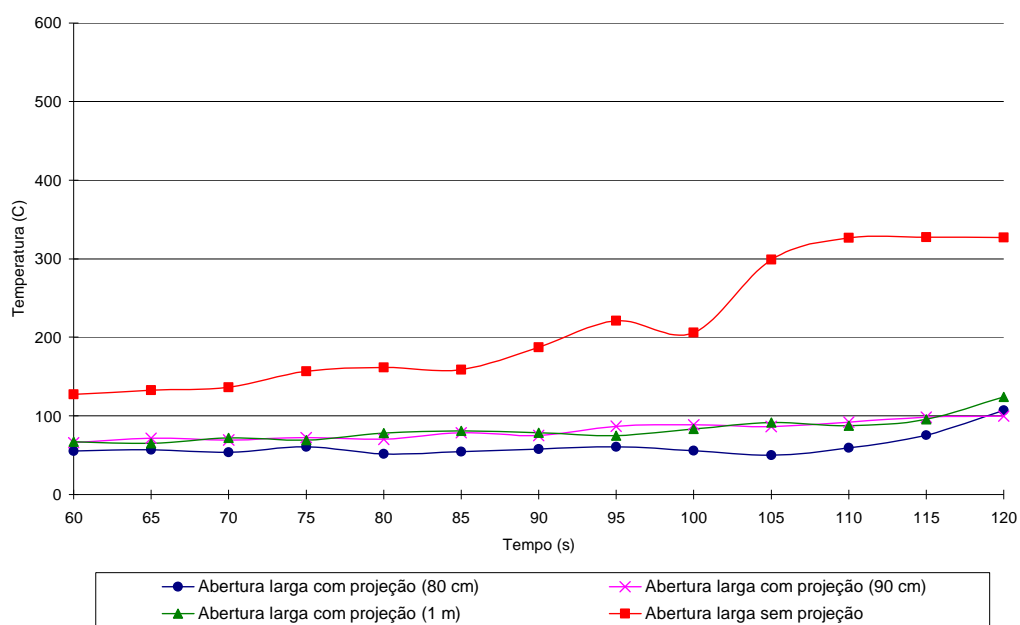


Figura 104: Gráfico mostrando as temperaturas do termopar 9 para as diferentes configurações de compartimentação externa.

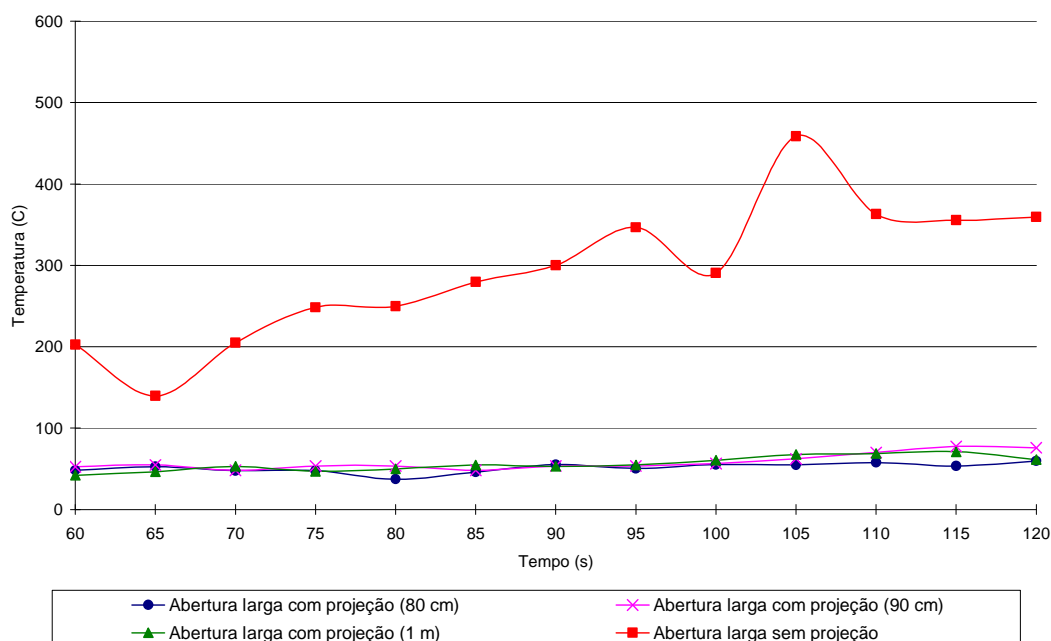


Figura 105: Gráfico mostrando as temperaturas do termopar 10 para as diferentes configurações de compartimentação externa.

8 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

8.1 CONCLUSÕES

8.1.1 Generalidades

As normas brasileiras, referências dos bons procedimentos a serem adotados, demandam uma grande discussão técnica e comprovação científica acerca dos assuntos tratados.

No tema segurança contra incêndio e pânico (SCIP), para que normas sejam exigidas com credibilidade, devem constar não só referências sobre detalhamentos construtivos e materiais a serem utilizados baseados nas suas resistências e desempenhos face às altas temperaturas, e sim também, devem conter referências científicas sobre a funcionalidade destes detalhamentos e materiais sob a ótica da dinâmica do incêndio e sua proteção contra a propagação, bem como contemplar diversas configurações e tecnologias, já que o ramo da construção civil não é inerte.

Principalmente, o ideal seria que as normas nacionais fossem formatadas abrangendo conhecimentos produzidos segundo as peculiaridades brasileiras de materiais e métodos. Ditames internacionais são excelentes parâmetros, mas por vezes não contemplam a realidade do nosso país.

Contudo, para a consolidação das normas, instruções e pareceres técnicos, os órgãos responsáveis e competentes por sua elaboração, quer sejam associações normativas ou Corpos de Bombeiros, devem dispor de um corpo técnico e um laboratório especializados para as pesquisas sobre segurança contra incêndio e pânico, pois muitos equipamentos e materiais são diferenciados dos laboratórios convencionais.

A realização de ensaios em escala reduzida mostraram-se viáveis à consecução dos objetivos de análise da dinâmica de propagação do incêndio e de resistência dos materiais, mostrando resultados coerentes de forma qualitativa e quantitativa, bem como reduzindo sobremaneira o

custo. Deve-se então, agregar mais equipamentos laboratoriais que contemplem leituras e análises de diversas outras propriedades influenciadoras deste fenômeno.

O *Fire Dynamic Simulator* provou ser uma ferramenta potente para predizer o comportamento do incêndio, servindo de embasamento qualitativo para avaliação da eficiência de muitos sistemas de SCIP e confecção de pareceres técnicos sem vultosos dispêndios. Contudo, é necessário realizar a caracterização das propriedades dos materiais utilizados no Brasil, como por exemplo o poder calorífico específico, para uma análise quantitativa mais eficiente, já que o software é internacional.

8.1.2 Conclusões específicas

Diante do programa experimental executado, resultados apresentados, análises e discussões realizadas, pode-se concluir que:

- a) as diferentes geometrias das aberturas, mesmo com iguais áreas de ventilação, influenciam na projeção das chamas e da pluma dos produtos da combustão (fumaça), modificando dinâmica da propagação. Em aberturas com geometria estreita, as chamas afastam-se da fachada, diferenciando-se as temperaturas ao longo da parede; aberturas de geometria retangular com bases mais largas lançam as chamas rente à parede externa aquecendo por igual os elementos, apresentando temperaturas mais altas;
- b) a configuração do pé-direito do compartimento também influencia a dinâmica da propagação externa. Convencionalmente, o detalhamento denominado pé-direito alto apresentou temperaturas maiores e chamas que alcançavam a abertura do compartimento superior. A configuração com pé-direito convencional dificulta a oxigenação do fogo e facilita o escape da fumaça, diminuindo as temperaturas e o comprimento da chama externa;
- c) há a necessidade de modificar as classificações segundo as ocupações, adequando-as de acordo com a compartimentação interna e a carga de incêndio, pois divisões internas compartimentadoras alteram a quantidade de combustível disponível e modificam a geometria das aberturas. Estes fatores são preponderantes para evitar o *flashover*, fenômeno assim limítrofe entre o risco baixo e o médio;

d) devido ao comportamento das chamas e da fumaça através das janelas, projeções horizontais como prolongamento dos pisos são mais eficientes em edificações com aberturas largas;

e) para a edificação classificada como de risco baixo:

- somente a configuração combinada da projeção horizontal de 90 cm com o afastamento de 1,2 metros e aberturas estreitas pode ser considerado como isolamento de risco, devido à invariabilidade das temperaturas no compartimento superior. As demais são consideradas como retardantes da propagação;
- os afastamentos da fachada com aberturas largas e sem prolongamentos não apresentaram resultados satisfatórios, exceto o afastamento de 3 metros, não podendo tão somente estes sistemas implantados serem considerados como compartimentação vertical externa;
- o afastamento de 1,2 metros com aberturas estreitas, no caso de inexistência de prolongamento dos pisos, apresentou os melhores resultados, podendo-se considerar esta configuração a mais otimizada para retardar a propagação do fogo;

f) para a edificação classificada como de risco médio:

- a configuração da fachada sem projeção horizontal, com pé-direito convencional e afastamento de 3 metros, bem como a combinação de afastamento não inferior a 2,5 metros com prolongamento dos pisos, em qualquer geometria de abertura, podem ser consideradas como isolamento de risco, pois as temperaturas não variaram no compartimento superior. As demais configurações são retardantes da propagação do incêndio;
- os demais afastamentos sem projeções horizontais, independentemente da geometria das aberturas não apresentaram resultados satisfatórios à SCIP, não podendo considerá-los, tão somente sua instalação, como sistema de compartimentação vertical externa;
- para ambas geometrias de aberturas, visando uma padronização, a projeção horizontal de 90 cm foi a configuração que otimizou os resultados, podendo ser considerada como sistema de compartimentação vertical externa;
- com janelas estreitas, devido ao comportamento do fogo, existe uma excelente proteção sobre e próximo às projeções horizontais, devendo-se atentar quanto a parte superior da abertura devido ao retorno das chamas e da pluma de encontro à fachada, podendo ignir cortinas ou persianas;

Por fim, cabe salientar que para todas as conclusões, os sistemas de compartimentação interna devem ser considerados devidamente instalados, garantindo a estanqueidade, pois tão somente a compartimentação externa não cumpriria as funções de retardo da propagação ou isolamento do risco.

8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido a existência de vários sistemas de segurança contra incêndio e pânico, como também é grande a interação da dinâmica do incêndio com os fatores ambientais, a gama de combinações para estudo torna-se diversificada.

Contudo, no intuito de dar continuidade à linha de pesquisa deste trabalho, propõe-se os seguintes temas:

- a) estabelecer um fator largura x altura da abertura, relacionada ao pé-direito do compartimento, que defina o comportamento da propagação externa do incêndio, propondo otimizações;
- b) analisar a eficiência das combinações dos sistemas de compartimentação interna e externa (horizontal e vertical) realizando ensaios em escala reduzida e simulações computacionais de incêndio;
- c) analisar a influência da direção e da intensidade do vento na propagação externa do fogo utilizando ensaios em escala reduzida e simulações computacionais de incêndio;
- d) realizar ensaios de incêndio utilizando calorímetro a fim de fornecer propriedades dos materiais produzidos e comercializados no Brasil;
- e) verificar a eficiência dos vidros na proteção contra a propagação vertical externa do incêndio através de ensaios em escala reduzida com calorímetros;
- f) verificar por meio de simulação computacional de incêndio a eficiência da combinação das compartimentações com a instalação de chuveiros automáticos (sprinklers);
- g) realizar estudos de caso utilizando simulação computacional da dinâmica dos incêndios e simulação computacional do escape emergencial das pessoas, variando-se influenciadores da dinâmica do fogo;
- h) realizar ensaios em escala reduzida e simulação computacional de incêndio em diversas configurações e geometrias de edificações visando definir *designs* mais seguros.

REFERÊNCIAS

ACRE. **Lei nº 1.137 de 29 de julho de 1994**. Dispõe sobre a segurança contra incêndio e pânico, cria a taxa de serviços técnicos e dá outras providências. Rio Branco, 1994. 3 p.;

ACRE. **Decreto Estadual nº 410 de 29 de agosto de 1994**. Regulamenta a Lei nº 1.137 de 29 de julho de 1994 e aprova as especificações técnicas de segurança contra incêndio e pânico do Corpo de Bombeiros Militar do Acre. Rio Branco, 1994. 104 p.;

ALAGOAS. **Decreto nº 3.854 de 28 de novembro de 2007**. Aprova a reforma do Código de segurança contra incêndio e pânico. Maceió, 2007. 70 p.;

AMAPÁ. **Lei nº 871 de 31 de dezembro de 2004**. Aprova a edição do Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Estado do Amapá e dá outras providências. Macapá, 2004. 16 p.;

AMAZONAS. **Decreto Estadual nº 24.054 de 1º de março de 2004**. Aprova o Regulamento do Sistema de Segurança contra Incêndio e Pânico em Edificações e Áreas de Risco instituído pela Lei nº 2.812 de 17 de julho de 2003 e dá outras providências. Manaus, 2004. 39 p.;

ARCHAMBAULT, Guy; THOMAS, Loic. **Sécurité incendie**: Collection Mémentos. Paris: Arcelor, 2005. p. 48-77;

ASSIS, Valério Tadeu de. **Carga de incêndio em edifícios de escritórios**: Estudo de caso: Belo Horizonte/MG, Brasil. 2001. 105 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9443**: Extintor de incêndio classe A: ensaio de fogo em engradado de madeira. Rio de Janeiro, 2002. 6 p.;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12693**: Sistemas de proteção por extintores de incêndio. Rio de Janeiro, 1993. 15 p.;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13860**: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndios. Rio de Janeiro, 1997. 10 p.;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações: procedimento. Rio de Janeiro, 2001. 14 p.;

BAILEY, Colin. **Fire modelling: External window fires**. One Stop Shop in Structural Fire Engineering by the University of Manchester. Disponível em: <www.mace.manchester.ac.uk/project/research/structures/strucfire/Design/performance/fireModelling/externalWindowFires/default.htm>. Acesso em: 17 Fev 2009;

BOMBEIROS EMERGÊNCIA. Apresenta os históricos dos incêndios nos edifícios Andraus (1972) e Joelma (1974). Disponível em: <<http://www.bombeirosemergencia.com.br>>. Acesso em: 14 Ago 2008;

BONITESE, Karina Venâncio. **Segurança contra incêndio em edifício habitacional de baixo custo estruturado em aço**. 2007. 278 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 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;

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 05 de outubro de 1988. 38 ed. São Paulo: Saraiva, 2006. 432 p.;

CÁNOVAS, Manuel Fernandez. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988. p. 173-201;

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;

CEARÁ. **Lei nº 13.556 de 29 de dezembro de 2004**. Dispõe sobre a segurança contra incêndios e dá outras providências. Fortaleza, 2004. 5 p.;

CEARÁ. **Decreto 28.085 de 10 de janeiro de 2006**. Regulamenta a Lei nº 13.556 de 29 de dezembro de 2004, que dispõe sobre a segurança contra incêndios, institui e dá outras providências. Fortaleza, 2006. 5 p.;

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;

CHENG, Tsung-Min; CHANG, Kuan-Yung; SHEN, Tzu-Sheng. **Analysis of difference in building materials of residence fire by using Fire Dynamic Simulator (FDS)**. Journal of Applied Fire Science. v. 13, n. 4, p. 275-289, 2004;

CHOW, W.K. *et al.* **An investigation on spill plume development and natural filling in large full-scale atrium under retail shop fire**. International Journal of Heat and Mass Transfer. n. 50, p. 513-529, 2007;

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica nº 03**: Terminologia de segurança contra incêndio. São Paulo, 2004. 27 p.;

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica nº 07:** Separação entre edificações (Isolamento de risco). São Paulo, 2004. 11 p.;

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica nº 08:** Segurança estrutural nas edificações: Resistência ao fogo dos elementos de construção. São Paulo, 2004. 13 p.;

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução Técnica nº 09:** Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. São Paulo, 2004. 14 p.;

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ. **Código de prevenção de incêndios:** Alterado pela Diretriz nº 001/2001, de 01/02/2001, Publicada em Boletim Geral do Comando Corpo de Bombeiros nº 044, de 06/03/2001. 3. ed. rev. e amp. Curitiba, 2001. 87 p.;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE RORAIMA. **Norma Técnica nº 07:** Separação entre edificações (Isolamento de risco). Boa Vista, 2005. 10 p.;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE RORAIMA. **Norma Técnica nº 09:** Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. Boa Vista, 2005. 13 p.;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SERGIPE. **Regulamento de segurança contra incêndio e pânico.** Aracaju, 2000. 152 p. Disponível em: < www.cbm.se.gov.br>. Acesso em: 20 de julho de 2008.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Portaria nº 47/2000.** Aprova a Norma Técnica nº 002/2000-CBMDF, sobre a classificação das edificações de acordo com os riscos no Distrito Federal. Brasília, 2000. 2 p.;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Portaria nº 01/2002.** Aprova a nova Norma Técnica nº 001/2002-CBMDF, que dispõe sobre as Exigências de Sistemas de Proteção contra Incêndio e Pânico das edificações do Distrito Federal, que especificam. Brasília, 2002. 8 p.;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Laudo pericial nº 001 de 1º de janeiro de 2007.** Centro de Investigação e Prevenção de Incêndios. Brasília, 2007;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Laudo pericial nº 223 de 27 de dezembro de 2005.** Centro de Investigação e Prevenção de Incêndios. Brasília, 2005;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS. **Norma Técnica nº 07:** Separação entre edificações (Isolamento de risco). Goiânia, 2007. 11 p.;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS. **Norma Técnica nº 09:** Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. Goiânia, 2007. 14 p.;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Resolução 028/CAT/ CCB/98:** Dispõe sobre o material empregado em paredes corta-fogo, altera art. 270 das NSCI/94, e revoga Resoluções nº 015 e 016 / CAT / CCB / 96. Florianópolis, 1998. 1 p.;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO AMAPÁ. **Portaria nº 002/05/CAT - CBMAP.** Aprova a Norma Técnica nº 001/2005-CBMAP, sobre as exigências de sistemas de proteção contra incêndio e pânico das edificações do Estado do Amapá, que especificam. Macapá. 2005. 12 p.;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO AMAPÁ. **Portaria nº 003/05/CAT - CBMAP.** Aprova a Norma Técnica nº 002/2005-CBMAP, sobre a classificação das edificações de acordo com os riscos no Estado do Amapá, que especificam. Macapá, 2005. 12p.;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO CEARÁ. **Norma Técnica nº 013:** Compartimentação horizontal e vertical. Fortaleza, 2008. 10 p.;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Parecer Técnico nº 003-CAT:** Conceituação de risco isolado. Vitória, 1999. 3 p.;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE. **Código de segurança e prevenção contra incêndio e pânico do Estado do Rio Grande do Norte.** Natal. 43 p. Disponível em: < www.cbm.rn.gov.br/downloadsserten.asp>. Acesso em: 27 Mar. 2008;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO TOCANTINS. **Portaria nº 006/2007/DISTEC.** Institui a Norma Técnica nº 05/2007/ DISTEC, que dispõe sobre separação entre edificações e dá outras providências. Palmas, 2007. 13 p.;

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO TOCANTINS. **Portaria nº 008/2007/DISTEC.** Institui a Norma Técnica nº 07/2007/ DISTEC, que dispõe sobre compartimentação horizontal e vertical e dá outras providências. Palmas, 2007. 13 p.;

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;

DISTRITO FEDERAL. **Decreto nº 21.361 de 20 de julho de 2000**. Aprova o regulamento de segurança contra incêndio e pânico do Distrito Federal e dá outras providências. Brasília, 2000. 9 p.;

DRYSDALE, Dougal. **An introduction to fire fire dynamics**. 2nd ed. Edinburgh: John Wiley & Sons, 1998. p. 367-370;

ESCÓCIA. **Fire Safety in Scotland**: Draft Regulations. Edinburgh: Scottish Executive, 2005. 15 p.;

ESCÓCIA. **Draft Fire Safety Guide**: Consultation document. Edinburgh: Scottish Executive, 2005. 84 p.;

ESPAÑA. **Real Decreto nº 2.177 de 4 de octubre de 1996**. Aprueba la Norma Básica de la edificación NBE-CPI/96: condiciones de protección contra incendios en los edificios. Madrid, 1996. p. 8-11, 33-42. Disponível em: <www.isover.net/asesoria/manuales/nbecpi96.htm>. Acesso em: 31 Jul. 2008;

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 nº 2.125 de 12 de setembro de 1985**. Regulamenta a Lei nº 3.218 de 27 de julho de 1978, fixando as normas para todo o serviço de segurança das pessoas e dos seus bens contra incêndio e pânico e dispendo sobre a aplicação das penalidades. Vitória, 1985. 18 p.;

FRANÇA. **Article CO 21**: Résistance à la propagation verticale du feu par les façades comportant des baies. Disponível em: <www.preventionniste.com/erp/livre2/co/co21.php> Acesso em: 05 Jul. 2008.

GEYGER, Rafael. **Um incêndio na memória gaúcha**. Revista Emergência, Novo Hamburgo, n. 09, p. 52-53, Jun. 2008;

GILL, Alfonso Antônio; NEGRISOLO, Walter; OLIVEIRA, Sérgio Agassi de. **Aprendendo com os grandes incêndios**. In: SEITO, Alexandre Itiu *et al.* A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. cap. III, p. 19-33;

GIRUÁ. **Lei Municipal nº 1.543 de 13 de junho de 1995**. Disposições sobre normas de Prevenção e Proteção contra Incêndio. São Borja, 1995. 21 p.;

GOIÁS. **Lei nº 15.802 de 11 de setembro de 2006**. Institui o Código Estadual de proteção contra incêndio, explosão, pânico e desastres e dá outras providências. Goiânia, 2006. 77 p.;

HAYASHI, Yoshihiko; OHMIYA, Yoshifumi; SAGA, Takeshi. **Experimental study on fire and plume properties using bri's fire wind tunnel facility.** Fire Science and Technology, v. 22, n. 1, p. 17-35, 2003;

HIMOTO, Keisuke. **Modeling thermal behaviors of window flame ejected from fire compartment.** Fire Safety Journal, n. 44, p. 230-240, 2009;

HUANG, Hong *et al.* **Experimental study of fire growth in a reduced-scale compartment under different approaching external wind conditions.** Fire Safety Journal, 2008. 11 p.;

IJUÍ. **Lei Municipal nº 2.955 de 30 de dezembro de 1993.** Institui o Código de Prevenção contra Incêndio. Ijuí, 1993. 24 p.;

INSTITUTO DE RESSEGUROS DO BRASIL. **Tarifa de seguro incêndio do Brasil.** Aprovada pelo Departamento Nacional de Seguros Privados e Capitalização em 1º de fevereiro de 1953. Edição atualizada. Brasília, 1994. 358 p.;

JAPÃO. **Lei nº 226 de 23 de dezembro de 1947.** Fire Defense Organization Law. International Fire Service Information Center. Tóquio, 2004. 12 p.;

JAPÃO. **Lei nº 186 de 24 de julho de 1948.** Fire Service Law. International Fire Service Information Center. Tóquio, 2005. 71 p.;

JAPÃO. **Ordem Ministerial nº 06 de 1º de abril de 1961.** Fire Service Law Enforcement Regulations. International Fire Service Information Center. Tóquio, 1999. 171 p.;

JAPÃO. **Ordem do Gabinete nº 37 de 25 de março de 1961.** Fire Service Law Enforcement Order. International Fire Service Information Center. Tóquio, 2005. 67 p.;

KWOK, W. K. *et al.* **A pilot study of the external smoke spread in high-rise buildings.** The Journal of Building Surveying, v. 2, p. 4 – 9, 2000;

LEAL, Vinícius de Carvalho. **Manual prático de orientações para aprovação de edificações no Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Piauí.** Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Piauí, 2008. Disponível em:< www.cbm.pi.gov.br/legislacao.php>. Acesso em: 05 Jul. 2008;

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;

MAMMOSER, John H.; BATTAGLIA, Francine. **A computational study on the use of balconies to reduce flame spread in high-rise apartment fires.** Fire Safety Journal, n. 39, p. 277-296, 2004;

MARANHÃO. **Lei Estadual nº 6.546 de 29 de dezembro de 1995**. Dispõe sobre o código de segurança contra incêndio e pânico do Estado do Maranhão e dá outras providências. São Luís, 1995. 46 p.;

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

MATO GROSSO. **Lei nº 8.399 de 22 de dezembro de 2005**. Institui a legislação de segurança contra incêndio e pânico do Estado de Mato Grosso e dá outras providências. Cuiabá, 2005. 60 p.;

MATO GROSSO. **Decreto Estadual nº 857 de 29 de agosto de 1984**. Especificação para instalação de proteção contra incêndio. Cuiabá, 1984. 43 p.;

MATO GROSSO DO SUL. **Lei nº 1.092 de 06 de setembro de 1990**. Dispõe sobre a Segurança Contra Incêndio e Pânico e dá outras providências. Campo Grande, 1990. 2 p.;

MATO GROSSO DO SUL. **Decreto nº 5.672 de 22 de outubro de 1990**. Regulamenta a Lei nº 1.092 de 06 de setembro de 1990 e dá outras providências. Campo Grande, 1990. 50p.;

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;

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.* **User's Guide**: Fire Dynamics Simulator (Version 5). National Institute of Standards and Technology. NIST Special Publication 1019-5. Washington: U.S. Government Printing Office, 2008. 224 p.;

MITIDIERI, Marcelo Luis. **O comportamento dos materiais e componentes construtivos diante do fogo**: Reação ao fogo. In: SEITO, Alexandre Itiu *et al.* A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. cap. V, p. 55-75;

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). **Manual de protección contra incendios = Fire Protection Handbook**. 3. ed. Madrid: Mapfre, 1987. v. 1. p. 422, 486-494;

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). **NFPA 80**: Standards for Fire Doors and Windows. USA: NFPA, 1999. 67 p.;

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). **NFPA 80A**: Recommended Practice for Protection of Buildings from Exterior Exposures. USA: NFPA, 2001. 13 p.;

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). **NFPA 101**: Code for Safety to Life from Fire in Buildings and Structures. USA: NFPA, 2006. 441 p.;

NOVO HAMBURGO. **Lei Municipal nº 18 de 05 de março de 1992**. Fixa normas indispensáveis à proteção contra incêndios nos prédios e estabelecimentos no Município de Novo Hamburgo. Novo Hamburgo, 1992. 8 p.;

OFFICE OF THE DEPUTY PRIME MINISTER. **The building regulations 2000**: Fire safety incorporating 2000 and 2002 amendments. 2006. 162 p. Disponível em: < www.communities.gov.uk/archived/publications/planningandbuilding/buildingapproveddocumentb>. Acesso em 17 Mar. 2008;

OLESZKIEWICS, I; YUNG, D. **Fire spread via exterior walls of buildings**. In: CONFERENCE ON BUILDING SCIENCE AND TECHNOLOGY, 4., 1988, Toronto. Disponível em: <<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/fulltext/nrcc28918/nrcc28918.pdf>>. Acesso em: 17 Nov 2008;

ONO, Rosária. **Segurança em xeque**. Revista Incêndio, São Paulo, n. 53, p.12-26, Mai. 2008;

ONO, Rosária; VENEZIA, Adriana P.P.G.; VALENTIN, Marcos Vargas. **Arquitetura e urbanismo**. In: SEITO, Alexandre Itiu *et al.* A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. cap. IX, p. 123-134;

PARÁ. **Decreto nº 357 de 21 de agosto de 2007**. Institui o regulamento de segurança contra incêndio e pânico das edificações e áreas de risco para os fins da Lei nº 5.731, de 15 de dezembro de 1992 e estabelece outras providências. Belém, 2007. 44 p.;

PARAÍBA. **Decreto Estadual nº 5.792 de 1º de fevereiro de 1973**. Normas de prevenção e combate a incêndio. João Pessoa, 1973.

PELOTAS. **Lei Municipal nº 3.832 de 09 de junho de 1994**. Institui o código de prevenção contra incêndio. Pelotas, 1994. 25 p.;

PERNAMBUCO. **Código de segurança contra incêndio e pânico para o Estado de Pernambuco**. Recife, 1996. 91 p. Disponível em: <www.sds.pe.gov.br/cbmpe/frme-info-norma.asp>. Acesso em: 05 Jul. 2008;

PETROBRAS DISTRIBUIDORA. **Portal BR**. Apresenta informações técnicas sobre a gasolina de aviação, 2003. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/portal>>. Acesso em: 09 Mar 2009;

PIAUI. **Decreto nº 5.483 de 10 de agosto de 2005**. Dispõe sobre a competência do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Piauí e sobre o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Estado, e dá outras providências. Teresina, 2005. 20 p.;

PORTO ALEGRE. **Lei Complementar nº 420 de 1º de setembro de 1998**. Institui o código de proteção contra incêndio de Porto Alegre e dá outras providências. 4. ed. Porto Alegre: CORAG, 2001. 124 p.;

PORTUGAL. **Decreto-Lei nº 220 de 12 de novembro de 2008**. Estabelece o regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios. Lisboa. Diário da República. 1ª série, nº 220, 2008. p. 7.903-7.922;

PORTUGAL. **Portaria nº 1.532 de 29 de dezembro de 2008**. Aprova o regulamento técnico de segurança contra incêndios em edifícios. Lisboa. Diário da República. 1ª série, nº 250, 2008. p. 9.050-9.127;

PRASAD, Kuldeep; BAUM, Howard R. **Coupled fire dynamics and thermal response of complex building structures**. Proceedings of the Combustion Institute. n. 30, p. 2.255-2.262, 2005;

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

RIO DE JANEIRO. **Decreto nº 897 de 21 de setembro de 1976**. Regulamenta o Decreto-Lei nº 247 de 21 de julho de 1975, que dispõe sobre segurança contra incêndio e pânico. Rio de Janeiro, 1976. 107 p.;

RIO DE JANEIRO. **Decreto-Lei nº 247 de 21 de julho de 1975**. Dispõe sobre a segurança contra incêndio e pânico. Rio de Janeiro, 1975. 2 p.;

RIO GRANDE. **Lei de prevenção municipal nº 3.382 de 14 de junho de 1979**. Fixa os requisitos indispensáveis a proteção contra incêndio nos prédios e estabelecimentos no Município de Rio Grande. Rio Grande, 1979. 21 p.;

RIO GRANDE DO NORTE. **Lei nº 4.436 de 9 de dezembro de 1974**. Cria no Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado, o serviço técnico de engenharia SERTEN e dá outras providências. Natal, 1974. 1 p.;

RIO GRANDE DO NORTE. **Decreto nº 6.576 de 3 de janeiro de 1975**. Regulamenta a Lei nº 4.436 de 9 de dezembro de 1974 que criou no Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado, o serviço técnico de engenharia – SERTEN e dá outras providências. Natal, 1975. 3 p.;

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Estadual nº 10.897 de 11 de agosto de 1997**. Estabelece normas sobre sistemas de prevenção e proteção contra incêndios... Porto Alegre, 1997. 2 p.;

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto Estadual nº 37.380 de 28 de abril de 1997**. Alterado pelo Decreto Estadual nº 38.273 de 09 de março de 1998. Aprova as normas técnicas de prevenção de incêndios e determina outras providências. Porto Alegre, 1997. 7 p.;

Rondônia. **Lei nº 858 de 16 de dezembro de 1999.** Dispõe sobre normas de segurança contra incêndio e evacuação de pessoas e dos seus bens, no Estado de Rondônia, e dá outras providências. Porto Velho, 1999. 3 p.;

Rondônia. **Decreto nº 8.987 de 08 de fevereiro de 2000.** Dispõe sobre o Regulamento de Segurança contra Incêndio e Pânico do Estado de Rondônia. Porto Velho, 2000. 67 p.;

Roraima. **Lei Complementar nº 82 de 17 de dezembro de 2004.** Aprova o Código Estadual de Proteção Contra Incêndio e Emergência de Roraima e dá outras providências. Boa Vista, 2004. 41 p.;

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

RYDER, Noah L.; SCHEMEL, Cristopher F.; JANKIEWICZ, Sean P. **Near and far fields contamination modeling in a large scale enclosure:** Fire Dynamics Simulator comparisons with measured observations. *Journal of Hazardous Materials.* n. 130, p. 182-186, 2006;

Santa Catarina. **Decreto nº 4.909 de 18 de outubro de 1994.** Normas de segurança contra incêndio. Disponível em: < www.cb.sc.gov.br/cat/nsci94.htm>. Acesso em: 05 Jul. 2008;

Santa Maria. **Lei Municipal nº 3.301 de 22 de janeiro de 1991.** Norma de prevenção e proteção contra incêndio. Santa Maria, 1991. 31 p.;

Santa Rosa. **Lei Municipal nº 2.881 de 28 de agosto de 1995.** Dispõe sobre normas de prevenção e proteção contra incêndio. Santa Rosa, 1995. 35 p.;

Santiago. **Lei Municipal nº 19 de 21 de maio de 1994.** Institui o código de proteção contra incêndios e dá outras providências. Santiago, 1994. 25 p.;

Santo Ângelo. **Lei Municipal nº 1.884 de 02 de março de 1995.** Disposições sobre normas de Prevenção e Proteção contra Incêndio. Santo Ângelo, 1995. 27 p.;

São Borja. **Lei Municipal nº 1.499 de 28 de abril de 1988.** Dispõe sobre o Código de Prevenção Contra Incêndio. São Borja, 1988. 20 p.;

São Paulo. **Decreto nº 46.076 de 31 de agosto de 2001.** Institui o Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas de risco para os fins da Lei nº 684, de 30 de setembro de 1975 e estabelece outras providências. São Paulo, 2001. 37 p.;

Sapucaia do Sul. **Lei Municipal nº 1.667 de 24 de julho de 1992.** Estabelece norma de proteção contra incêndio. Alterada pela Lei Municipal nº 1.921 de 08 de novembro de 1996. Sapucaia do Sul, 1996. 9 p.;

SECRETARIA DE ESTADO DA DEFESA CIVIL. **Resolução SEDEC nº 125 de 29 de junho de 1993**. Aprova a norma técnica que fixa os critérios e parâmetros a serem observados na avaliação dos riscos de transmissão do fogo, em edificações distintas, de uma mesma propriedade, definindo-lhe os afastamentos mínimos. Rio de Janeiro, 1993. 3 p.;

SECRETARIA DE ESTADO DA DEFESA CIVIL. **Resolução SEDEC nº 279 de 11 de janeiro de 2005**. Dispõe sobre a avaliação e a habilitação do bombeiro profissional civil, o dimensionamento de brigadas de incêndio e estabelece exigências complementares para as edificações licenciadas ou construídas em data anterior à vigência do Decreto nº 897, de 21 de setembro de 1976, e dá outras providências. Rio de Janeiro, 2005. 8 p.;

SECRETARIA DE ESTADO DA DEFESA CIVIL. **Resolução SEDEC nº 300 de 21 de março de 2006**. Aprova as normas complementares para aplicação do Decreto nº 897 de 21 de setembro de 1976. Rio de Janeiro, 2006. 9 p.;

SEITO, Alexandre Itiu. **Fundamentos de fogo e incêndio**. In: SEITO, Alexandre Itiu *et al.* A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. cap. IV, p. 35-54;

SEITO, Alexandre Itiu. **Ensaaios laboratoriais**. In: SEITO, Alexandre Itiu *et al.* A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008. cap. VI, p. 77-91;

SERGIPE. **Lei nº 4.183 de 22 de dezembro de 1999**. Estabelece e define critérios acerca de sistemas de segurança contra incêndio e pânico para edificações e dá outras providências. Aracaju, 1999. 9 p.;

SILVA, Valdir Pignatta e. **Estruturas de aço em situação de incêndio**. São Paulo: Zigurate Editora, 2004. 247 p.;

SOUZA, Walter Pavão de. **Reação ao fogo dos materiais**: Uma avaliação dos métodos de projeto de saídas de emergência em edificações de uso não industrial. 2007. 135 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de materias) - Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, 2007;

SUÉCIA. **BFS 1993:57**: Building Regulations (BBR): Mandatory provisions and general recommendations:with amendments up to BFS 2002:19. Karlskrona: Swedish Board of Housing, Building and Planning Publication Service, 2002. p. 33-78;

SUPERINTENDÊNCIA DE SEGUROS PRIVADOS. **Circular nº 006 de 16 de março de 1992**. Regulamento para concessão de descontos aos riscos que dispuserem de meios próprios de detecção e combate a incêndio. Brasília, 1992. 39 p.;

TOCANTINS. **Lei nº 1.787 de 15 de maio de 2007**. Dispõe sobre a segurança contra incêndio e pânico em edificações e áreas de risco no Estado do Tocantins. Palmas, 2007. 46 p.;