



**Universidade de Brasília**  
**Faculdade de Arquitetura e Urbanismo**  
**Programa de Pesquisa e Pós-Graduação**  
**Doutorado em Arquitetura e Urbanismo**

Alessandra Beatriz Carneiro Gonçalves Alves

**A QUESTÃO DO ESCAPE EM EDIFÍCIOS ALTOS:**  
**A influência da fumaça de incêndio na proteção da vida**

**Brasília**  
**2010**

**Professor Doutor José Geraldo de Sousa Júnior**  
**Reitor da Universidade de Brasília**

**Professor Doutor Andrey Rosenthal Schlee**  
**Diretor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo**

**Professor Doutor Márcio Albuquerque Buson**  
**Diretor do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação**

**Professor Doutor José Manuel Morales Sanchez**  
**Chefe do Departamento de Tecnologia**

**Alessandra Beatriz Carneiro Gonçalves Alves**

**A QUESTÃO DO ESCAPE EM EDIFÍCIOS ALTOS:  
A influência da fumaça de incêndio na proteção da vida**

Tese apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, área de concentração: Tecnologia, como requisito a obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo, sob a orientação do Prof. Dr. Paulo Castilho Lima.

**Brasília  
2010**

**Alessandra Beatriz Carneiro Gonçalves Alves**

**A QUESTÃO DO ESCAPE EM EDIFÍCIOS ALTOS:**

**A influência da fumaça de incêndio na proteção da vida**

Tese apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília – UnB, área de concentração Tecnologia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

**Banca Examinadora:**

---

**Prof. Dr. Paulo Castilho Lima**  
**(Orientador – FAU/UnB)**

---

**Prof. Dr. George Cajaty Barbosa Braga**  
**(Professor – NIST/EUA)**

---

**Prof.<sup>a</sup> Dra. Rosária Ono**  
**(Professora – FAU/USP)**

---

**Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Maria Nogales Vasconcelos**  
**(Professora – EST/IE/UnB)**

---

**Prof. Dr. Cláudio José Pinheiro Villar de Queiroz**  
**(Professor – FAU/UnB)**

**Brasília, agosto de 2010**

Ao meu esposo Renato e aos meus filhos Rodrigo e Murilo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades oferecidas e pela felicidade de ter colocado em meu caminho pessoas que foram fundamentais para a realização deste trabalho: meu orientador, Paulo Castilho, e o Capitão André Campos, do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal - CBMDF.

Agradeço ao meu esposo Renato e aos meus pais, Ademir e Marta, pelo apoio e dedicação que sempre tiveram comigo.

Aos meus tios, Aninha e Marcos, pela paciência e pelo tempo cedido nas horas que precisei.

Agradeço ao Major George, pela contribuição através de seu grande conhecimento.

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para que esta etapa fosse concluída.

*“A forma mais elaborada do poder é o conhecimento.”*

**Pe. Fábio de Melo**

## RESUMO

As novas tecnologias e inovações em projetos possibilitam a construção de edifícios cada vez mais altos. E a preocupação com o meio ambiente fez surgir o conceito de edifícios verdes e sustentáveis. O presente estudo destaca como problema a estratégia bioclimática de ventilação natural aplicada a estes edifícios nas estratégias de Segurança contra Incêndio, como influência na propagação da fumaça. A fumaça, conseqüentemente, influencia no movimento de evacuação dos ocupantes da edificação. Os edifícios altos são as construções mais preocupantes em relação ao escape seguro, sem ferimentos e mortes, pois, além de comportarem um número maior de pessoas, o tempo gasto para saída é maior, comparando-se a edificações térreas ou mais baixas. Através da utilização de um *software* de simulação de incêndio e do movimento de evacuação, percebeu-se que na criação de uma área protegida no pavimento da edificação, seria possível aumentar o tempo de escape sem prejudicar a existência da ventilação natural no edifício. O estudo adotou a metodologia comparativa e, através da análise dos resultados obtidos nas simulações, foi possível demonstrar que as estratégias bioclimáticas podem ser aplicadas ao edifício garantindo, ao mesmo tempo, um ambiente confortável e seguro.

Palavras-chave: Edifícios altos; Edifícios verdes; Edifícios sustentáveis; Segurança contra incêndio; Escape; Saídas de emergência; Áreas protegidas; Ventilação natural; Fumaça; Incêndio.

## ABSTRACT

New technologies and innovations in designs allow for the construction of buildings ever higher. And the concern with the environment has raised the concept of green buildings and sustainable. This study highlights the problem as bioclimatic natural ventilation strategy applied to these buildings in the strategies of Fire Safety, as an influence on the spread of smoke. The smoke, therefore, influences the movement of evacuation of the occupants of the building. The tall buildings are the buildings most concern in relation to escape safely without injuries and deaths because, in addition to conduct a larger number of people, the time taken to output is higher, comparing the buildings ground floor or lower. By using a software simulation of fire and movement of escape, it was felt that the creation of a protected area in the floor of the building, could increase the time to escape without affecting the existence of natural ventilation in the building. The study adopted a comparative methodology, and by analyzing the simulation results, we could demonstrate that strategies can be applied to bioclimatic building ensuring at the same time, a comfortable and secure

Keywords: Skyscrapers. High buildings. Green buildings. Sustainable buildings. Fire security. Escape. Emergency exists. Protect areas. Natural ventilation. Smoke. Fire.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- A torre de Babel interpretada por (A) Maurits Escher (1928) e por (B) Pieter Bruegel (1563).....	42
Figura 2	- Imagens do filme “King Kong”, de (A) 1933 e de (B) 1976.....	42
Figura 3	- Imagem representativa das fachadas dos vários edifícios altos existentes no mundo.....	43
Figura 4	- Vista panorâmica da cidade de Hong Kong.....	45
Figura 5	- Torre Eiffel, Paris.....	46
Figura 6	- O centro de negócios de Chicago: Loop.....	47
Figura 7	- Impacto do avião na Torre Norte em planta baixa em relação ao poço de escadas (simulação feita por computador).....	53
Figura 8	- One Canada Square, Canary Wharf, Londres.....	54
Figura 9	- Edifício Leiter, em 1889. Chicago, EUA.....	55
Figura 10	- Edifício Maison du Verre, 1932. Genebra, Suíça.....	56
Figura 11	- Ossatura. Edifício Fair, 1891. Chicago, EUA.....	57
Figura 12	- Edifício Reliance, 1894. Chicago, EUA.....	57
Figura 13	- Projeto para uma torre de vidro, 1921, de Mies Van der Rohe.	58
Figura 14	- Edifício Wainwright, de Louis Sullivan.....	59
Figura 15	- Loja de departamentos Carson, Pirie & Scott. Chicago, EUA..	60
Figura 16	- Modelo reduzido de um projeto e o túnel de vento.....	62
Figura 17	- Modelo rígido: ensaio de edifício e entorno.....	62
Figura 18	- Edifício Birmann 21 (149m de altura), concluído em 1996. São Paulo, Brasil.....	63
Figura 19	- E-Tower (150m de altura), concluído em 2005. São Paulo, Brasil.....	64
Figura 20	- Turbinas eólicas incorporadas no arranha-céu Bahrain World Trade Center.....	65
Figura 21	- World Trade Center – Torres Gêmeas. New York, EUA.....	65

## LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 22	- Sears Tower.....	66
Figura 23	- Esquema do Sears Tower: a quantidade de tubos vai diminuindo nos pontos mais altos do edifício.....	66
Figura 24	- Maquete de Brasília para Concurso da Nova Capital do Brasil – Rino Levi e equipe – 3º lugar no concurso.....	67
Figura 25	- Hong Kong and Shanghai Banking Corporation. Hong Kong, China.....	67
Figura 26	- Estrutura do Lake Shore Drive Apartments, Mies Van der Rohe.....	68
Figura 27	- Lake Shore Drive Apartments, Mies Van der Rohe.....	69
Figura 28	- Bank of China, de 1989. Hong Kong, China.....	69
Figura 29	- Torre de Colserolla. Barcelona, Espanha.....	70
Figura 30	- Torre sem fim, La Défense. Paris, França.....	71
Figura 31	- Edifício Menara Mesiniaga. Malásia.....	71
Figura 32	- Vista de Xangai, China, com o arranha-céu Hypergreen inserido por imagem computacional.....	80
Figura 33	- Vista do topo da torre do Hypergreen. No detalhe, o destaque às turbinas eólicas.....	80
Figura 34	- A rede que envolve a fachada do Hypergreen, como um véu inovador.....	81
Figura 35	- Imagem produzida por maquete eletrônica da área entre a rede de proteção solar e o local de trabalho no Hypergreen..	82
Figura 36	- Complexo residencial Reflexões, por Daniel Libeskind. Keppel, Cingapura.....	82
Figura 37	- Jardins na cobertura inclinada e passarelas de ligação no conjunto Reflexões. Keppel, Cingapura.....	83

## LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 38	- Eldorado Business Center – Certificação Leed CS – Platinum. São Paulo, Brasil.....	84
Figura 39	- Edifício Rochavera Corporate Tower – Torre B – Certificação Leed CS – Gold. São Paulo, Brasil.....	90
Figura 40	- Ventura Corporate Towers – Certificação LEED CS – Gold. Rio de Janeiro, Brasil.....	90
Figura 41	- Tetraedro do fogo.....	91
Figura 42	- Imagem da entrada do Teatro Iroquois, em Chicago, EUA, em 1903.....	95
Figura 43	- Foto da Casa de Ópera Rhoads, Boyertown, EUA, de 2007..	115
Figura 44	- Escola Elementar Collinwood, em Lake View, EUA.....	116
Figura 45	- Escola Elementar Collinwood, em Lake View, EUA.....	117
Figura 46	- Fachadas da fábrica de vestuário Triangle Shirtwaist Factory, em Nova York, EUA, e detalhe da escada da fábrica.....	117
Figura 47	- Incêndio no edifício Andraus, em 1972. São Paulo, Brasil.....	118
Figura 48	- Edifício Andraus após reforma. São Paulo, Brasil.....	124
Figura 49	- Incêndio no Edifício Joelma, em 1974. São Paulo, Brasil.....	125
Figura 50	- Pessoas se projetando na fachada do Edifício Joelma durante o incêndio. São Paulo, Brasil.....	126
Figura 51	- Resgate pela cobertura do edifício Joelma. São Paulo, Brasil.....	127
Figura 52	- Pessoas sendo resgatadas pelos bombeiros através dos banheiros do Edifício Joelma. São Paulo, Brasil.....	127
Figura 53	- A fumaça envolve todo o edifício Joelma. São Paulo, Brasil..	128
Figura 54	- Casa de Fumaça – CTO/CBMDF.....	128
Figura 55	- Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo Correto.....	137
Figura 56	- Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo Incorreto....	138

## LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 57	- Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo Correto – 1:00 minuto.....	139
Figura 58	- Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo Incorreto – 1:00 minuto.....	140
Figura 59	- Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo correto – 1minuto e 12 segundos.....	140
Figura 60	- Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo incorreto – 1minuto e 12 segundos.....	141
Figura 61	- Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo Correto – 2 minutos.....	141
Figura 62	- Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo incorreto – 2 minutos.....	142
Figura 63	- Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo correto – 4 minutos.....	142
Figura 64	- Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo incorreto – 4 minutos.....	143
Figura 65	- Simulação por ventilação natural – Modo correto – 1:00 minuto.....	143
Figura 66	- Simulação por ventilação natural – Modo incorreto – 1:00 minuto.....	144
Figura 67	- Simulação por ventilação natural unilateral – 1 minuto e 12 segundos.....	145
Figura 68	- Simulação por ventilação natural cruzada – 1 minuto e 12 segundos.....	145
Figura 69	- Simulação por ventilação natural unilateral – 2 minutos.....	146
Figura 70	- Simulação por ventilação natural cruzada – 2 minutos.....	146
Figura 71	- Simulação por ventilação natural unilateral – 4 minutos.....	147

## LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 72	- Simulação por ventilação natural cruzada – 4 minutos.....	147
Figura 73	- Exemplo ilustrativo da ventilação cruzada.....	148
Figura 74	- Formação da camada de fumaça em um ambiente enclausurado.....	149
Figura 75	- Aplicação adequada da extração da fumaça em um edifício..	153
Figura 76	- Controle de aberturas para extração da fumaça dentro do ambiente sinistrado.....	158
Figura 77	- Vista aérea do Complexo Brasil 21.....	159
Figura 78	- Implantação do Complexo Brasil 21 em relação ao Norte.....	171
Figura 79	- Bloco C – Business Center Park – Complexo Brasil 21 (Fachada Noroeste).....	172
Figura 80	- Bloco C – Business Center Park – Complexo Brasil 21 (Vista Oeste).....	173
Figura 81	- Planta baixa – 2º ao 11º pavimentos – Área total por pavimento: 1.348,85m².....	173
Figura 82	- Planta baixa – 12º ao 18º pavimentos – Área total por pavimento: 755,06m².....	175
Figura 83	- Planta baixa – 19º e 20º pavimentos – Área total por pavimento: 665,20m².....	176
Figura 84	- Corte longitudinal do Bloco C – Edifício Brasil 21.....	176
Figura 85	- Vista da porta de entrada da saída de emergência (hall de circulação): (A) e (B).....	177
Figura 86	- Vista interna da escada de emergência.....	177
Figura 87	- Vista da porta de entrada da circulação de serviço.....	178
Figura 88	- Vista do <i>hall</i> de serviço (porta de entrada da escada + porta da lixeira + elevador de serviço).....	178

## LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 89	- Vista das portas corta-fogo com saída da escada no térreo (A) e (B).....	179
Figura 90	- Tipo de esquadrias nos andares de escritórios (A) e (B).....	179
Figura 91	- <i>Hall</i> de elevadores (andares tipo).....	180
Figura 92	- Corredor interno – pavimento de maior área (A) e (B).....	180
Figura 93	- Commerzbank Tower. Frankfurt, Alemanha.....	181
Figura 94	- Vista panorâmica da cidade de Frankfurt com destaque ao Commerzbank Tower.....	182
Figura 95	- Vista da implantação do Commerzbank Tower.....	182
Figura 96	- Planta baixa do Commerzbank Tower – Área sem jardins = 1562,95m <sup>2</sup> .....	183
Figura 97	- Leiaute dividido em salas menores e criação de um corredor central.....	184
Figura 98	- Leiaute deixando uma área de produção central mais larga, sem aspecto de corredor.....	185
Figura 99	- Leiaute livre.....	185
Figura 100	- Jardim suspenso.....	185
Figura 101	- Jardim suspenso.....	186
Figura 102	- Jardim suspenso.....	186
Figura 103	- Jardim suspenso.....	187
Figura 104	- Corte do Commerzbank Tower.....	187
Figura 105	- Detalhe em corte dos jardins suspensos intercalados.....	188
Figura 106	- Croquis da vista para os jardins e átrio.....	189
Figura 107	- Imagem computacional da estrutura do Commerzbank Tower.....	189
Figura 108	- Vista interna e de fachada da janela.....	190
Figura 109	- Vista interna e de fachada da janela.....	191

## LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 110	- Ambiente interno dos escritórios (A) e (B).....	192
Figura 111	- Ambiente interno dos escritórios.....	193
Figura 112	- Ambiente interno dos escritórios.....	193
Figura 113	- Ambiente interno dos escritórios.....	194
Figura 114	- Planta baixa do Bloco C do Brasil 21 com indicação das saídas.....	194
Figura 115	- Planta baixa Commerzbank Tower com indicação das saídas.....	204
Figura 116	- Rosa dos Ventos para Brasília-DF.....	205
Figura 117	- Imagem da simulação de evacuação no tempo de 10s.....	208
Figura 118	- Imagem da simulação de evacuação no tempo de 30s.....	210
Figura 119	- Imagem da simulação de evacuação no tempo de 1 minuto.	210
Figura 120	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 5s (ambiente fechado).....	210
Figura 121	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 5s (ambiente aberto).....	212
Figura 122	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 17s (ambiente fechado).....	212
Figura 123	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 17s (ambiente aberto).....	213
Figura 124	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 23s (ambiente fechado).....	213
Figura 125	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 30s (ambiente aberto).....	214
Figura 126	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 60s (ambiente fechado).....	215

## LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 127	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 60s (ambiente aberto).....	215
Figura 128	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 120s (ambiente fechado).....	215
Figura 129	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 120s (ambiente aberto).....	216
Figura 130	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 180s (ambiente fechado).....	216
Figura 131	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 180s (ambiente aberto).....	217
Figura 132	- Planta baixa do pavimento com indicação dos pontos para coleta de dados de camada de fumaça.....	221
Figura 133	- Variação da temperatura no tempo de 30s (ambiente fechado).....	227
Figura 134	- Variação da temperatura no tempo de 60s (ambiente fechado).....	227
Figura 135	- Variação da temperatura no tempo de 120s (ambiente fechado).....	227
Figura 136	- Variação da temperatura no tempo de 180s (ambiente fechado).....	228
Figura 137	- Variação da temperatura no tempo de 30s (ambiente aberto).....	228
Figura 138	- Variação da temperatura no tempo de 60s (ambiente aberto).....	228
Figura 139	- Variação da temperatura no tempo de 120s (ambiente aberto).....	228
Figura 140	- Variação da temperatura no tempo de 180s (ambiente aberto).....	229
Figura 141	- Velocidade do ar no tempo de 5s (ambiente fechado).....	229

## LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 142	- Velocidade do ar no tempo de 30s (ambiente fechado).....	229
Figura 143	- Velocidade do ar no tempo de 60s (ambiente fechado).....	230
Figura 144	- Velocidade do ar no tempo de 90s (ambiente fechado).....	230
Figura 145	- Velocidade do ar no tempo de 180s (ambiente fechado).....	230
Figura 146	- Velocidade do ar no tempo de 5s (ambiente aberto).....	231
Figura 147	- Velocidade do ar no tempo de 30s (ambiente aberto).....	231
Figura 148	- Velocidade do ar no tempo de 60s (ambiente aberto).....	231
Figura 149	- Velocidade do ar no tempo de 120s (ambiente aberto).....	231
Figura 150	- Velocidade do ar no tempo de 180s (ambiente aberto).....	232
Figura 151	- Imagem da simulação de evacuação no tempo de 5s.....	233
Figura 152	- Imagem da simulação de evacuação no tempo de 30s.....	233
Figura 153	- Imagem da simulação de evacuação no tempo de 45s.....	234
Figura 154	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 5s (AMBIENTE FECHADO).....	235
Figura 155	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 5s (AMBIENTE ABERTO).....	236
Figura 156	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 30s (AMBIENTE FECHADO).....	236
Figura 157	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 30s (AMBIENTE ABERTO).....	237
Figura 158	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 1 minuto (AMBIENTE FECHADO).....	237
Figura 159	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 1 minuto (AMBIENTE ABERTO).....	238
Figura 160	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 90s (AMBIENTE FECHADO).....	239

## LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 161	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 90s (AMBIENTE ABERTO).....	239
Figura 162	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 100 segundos (AMBIENTE FECHADO).....	240
Figura 163	- Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 100 segundos (AMBIENTE ABERTO).....	240
Figura 164	- Planta baixa do Commerzbank Tower com indicação dos pontos definidos para a coleta dos dados da camada de fumaça.....	246
Figura 165	- Variação da temperatura no tempo de 5s (AMBIENTE FECHADO).....	251
Figura 166	- Variação da temperatura no tempo de 30s (AMBIENTE FECHADO).....	251
Figura 167	- Variação da temperatura no tempo de 60s (AMBIENTE FECHADO).....	252
Figura 168	- Variação da temperatura no tempo de 90s (AMBIENTE FECHADO).....	252
Figura 169	- Variação da temperatura no tempo de 5s (AMBIENTE ABERTO).....	253
Figura 170	- Variação da temperatura no tempo de 30s (AMBIENTE ABERTO).....	253
Figura 171	- Variação da temperatura no tempo de 60s (AMBIENTE ABERTO).....	254
Figura 172	- Variação da temperatura no tempo de 90s (AMBIENTE ABERTO).....	254
Figura 173	- Velocidade do ar no tempo de 5s (AMBIENTE FECHADO)...	255
Figura 174	- Velocidade do ar no tempo de 30s (AMBIENTE FECHADO).	255

**LISTA DE FIGURAS (continuação)**

<b>Figura 175</b>	- Velocidade do ar no tempo de 60s (AMBIENTE FECHADO).	256
<b>Figura 176</b>	- Velocidade do ar no tempo de 90s (AMBIENTE FECHADO).	256
<b>Figura 177</b>	- Velocidade do ar no tempo de 5s (AMBIENTE ABERTO).....	257
<b>Figura 178</b>	- Velocidade do ar no tempo de 30s (AMBIENTE ABERTO)....	257
<b>Figura 179</b>	- Velocidade do ar no tempo de 60s (AMBIENTE ABERTO)....	258
<b>Figura 180</b>	- Velocidade do ar no tempo de 90s (AMBIENTE ABERTO)....	258
<b>Figura 181</b>	- Planta baixa do Bloco C do Brasil 21 – área protegida.....	259
<b>Figura 182</b>	- Planta baixa do Commerzbank Tower – área protegida.....	261

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	- Curva de evolução do incêndio ( <i>ISO/TR3814:1989 (E) Tests to measuring reaction to fire of buildings materials – Their development and application</i> ).....	97
Gráfico 2	- Fases da evolução de um incêndio em um compartimento....	98
Gráfico 3	- Total de incêndios no Brasil – 1966/1990.....	104
Gráfico 4	- Número de ocorrências entre os anos de 2002 e 2008 no DF.....	109
Gráfico 5	- Tendência dos incêndios no Estado de São Paulo.....	110
Gráfico 6	- Número de ocorrências em quatro regiões administrativas do DF entre os anos 2002 e 2008.....	111
Gráfico 7	- Principais causas de sinistros entre os anos de 2002 e 2008 no DF.....	112
Gráfico 8	- Tempo total de evacuação e seus componentes.....	200
Gráfico 9	- Número de pessoas por saída de emergência x Tempo (s)...	211
Gráfico 10	- Número total de pessoas que estão no pavimento X Tempo (s) (AMBIENTE FECHADO).....	217
Gráfico 11	- Número total de pessoas que estão no pavimento X Tempo (s) (AMBIENTE ABERTO).....	218
Gráfico 12	- Número de pessoas por saída X Tempo (s) (AMBIENTE FECHADO).....	220
Gráfico 13	- Número de pessoas por saída X Tempo (s) (AMBIENTE ABERTO).....	220
Gráfico 14	- Altura até a camada de fumaça nos halls das saídas de emergência. (AMBIENTE FECHADO).....	222
Gráfico 15	- Altura até a camada de fumaça nos halls das saídas de emergência. (AMBIENTE ABERTO).....	223

## LISTA DE GRÁFICOS (continuação)

Gráfico 16	- Altura até a camada de fumaça nos corredores, hall de elevadores e ambiente do foco de incêndio. (AMBIENTE FECHADO).....	224
Gráfico 17	- Altura até a camada de fumaça nos corredores, hall de elevadores e ambiente do foco de incêndio. (AMBIENTE ABERTO).....	225
Gráfico 18	- Visibilidade no pavimento (AMBIENTE FECHADO).....	226
Gráfico 19	- Visibilidade no pavimento (AMBIENTE ABERTO).....	226
Gráfico 20	- Número de pessoas por saída de emergência X Tempo (s)..	234
Gráfico 21	- Número total de pessoas que estão no pavimento X Tempo (s) (AMBIENTE FECHADO).....	241
Gráfico 22	- Número total de pessoas que estão no pavimento X Tempo (s) (AMBIENTE ABERTO).....	242
Gráfico 23	- Número de pessoas por saída X Tempo (s) (AMBIENTE FECHADO).....	244
Gráfico 24	- Número de pessoas por saída X Tempo (s) (AMBIENTE ABERTO).....	244
Gráfico 25	- Altura até a camada de fumaça nos halls das saídas de emergência. (AMBIENTE FECHADO).....	247
Gráfico 26	- Altura até a camada de fumaça nos halls das saídas de emergência. (AMBIENTE ABERTO).....	247
Gráfico 27	- Altura até a camada de fumaça nos corredores, hall de elevadores e ambiente do foco de incêndio. (AMBIENTE FECHADO).....	248
Gráfico 28	- Altura até a camada de fumaça nos corredores, hall de elevadores e ambiente do foco de incêndio. (AMBIENTE ABERTO).....	249

## LISTA DE GRÁFICOS (continuação)

Gráfico 29	- Visibilidade no pavimento (AMBIENTE FECHADO).....	250
Gráfico 30	- Visibilidade no pavimento (AMBIENTE ABERTO).....	250
Gráfico 31	- Número de pessoas (direto pela Saídas e pela área protegida especificada) X Tempo (s) – SAÍDA 1 (Bloco C – Brasil 21).....	260
Gráfico 32	- Número de pessoas (direto pela Saídas e pela área protegida especificada) X Tempo (s) – SAÍDA 2 (Bloco C – Brasil 21).....	260
Gráfico 33	- Número de pessoas (direto pela Saídas e pela área protegida especificada) X Tempo (s) – SAÍDA 1 (Commerzbank Tower).....	262
Gráfico 34	- Número de pessoas (direto pela Saídas e pela área protegida especificada) X Tempo (s) – SAÍDA 2 (Commerzbank Tower).....	262
Gráfico 35	- Número de pessoas (direto pela Saídas e pela área protegida especificada) X Tempo (s) – SAÍDA 3 (Commerzbank Tower).....	263

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1	- Critérios de certificadoras no Brasil.....	86
Quadro 2	- PROCEL EDIFICA.....	92
Quadro 3	- Atuação da estatística de incêndio e da pesquisa nas demais frentes de atuação do Poder Público.....	114
Quadro 4	- Introdução de ar limpo e extração de fumaça (em edifícios).	159
Quadro 5	- Sistemas de extração de fumaça, natural e mecânica.....	160
Quadro 6	- Classificação dos átrios, conforme IT 15.....	161
Quadro 7	- Classificação das edificações quanto à altura.....	169
Quadro 8	- Número de saídas e tipos de escadas.....	169
Quadro 9	- Classificação das edificações quanto à sua ocupação.....	170
Quadro 10	- Vantagens e desvantagens das normas prescritivas e de desempenho, segundo Tavares, Silva e Duarte (2002).....	196
Quadro 11	- Cálculo da população para ambiente de escritórios.....	205
Quadro 12	- Número de pessoas por pavimento.....	206
Quadro 13	- Dados climáticos para as cidades de Brasília e Frankfurt.....	207

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1	- Estatísticas de incêndio dos anos 2002 a 2008 no DF, segundo a ocorrência de vítimas.....	109
Tabela 2	- Perícias de incêndio dos anos 2002 a 2008 no DF, segundo bens sinistrados.....	113
Tabela 3	- Queimaduras x Inalação da fumaça – Vítimas Fatais (1979-1992).....	154
Tabela 4	- Valores do tempo de pré-movimento (BSI DD240).....	164
Tabela 5	- Número de pessoas que alcançaram a saída de emergência – resultado das três simulações.....	219
Tabela 6	- Número de pessoas que atingiram as Saídas 1 e 2, nas três simulações.....	221
Tabela 7	- Número de pessoas que alcançaram a saída de emergência – resultado das três simulações.....	243
Tabela 8	- Número de pessoas que atingiram as Saídas 1,2 e 3, nas três simulações.....	245

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	27
1 EDIFÍCIOS EM ALTURA .....	41
1.1 HISTÓRICO E CONCEITOS .....	41
1.2 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS E AVANÇOS TECNOLÓGICOS APLICADOS EM PROJETOS DE EDIFÍCIOS ALTOS .....	51
1.3 EDIFÍCIOS VERDES E SUSTENTÁVEIS .....	73
1.3.1. Definições .....	73
1.3.2. Arquitetura sustentável .....	75
1.3.3 Certificados e selos verdes e sustentáveis no Brasil .....	85
2 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES.....	94
2.1 O INCÊNDIO.....	94
2.2 COLETA DE DADOS DE INCÊNDIO NO BRASIL.....	102
2.3 A EVOLUÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO NO BRASIL E NO MUNDO .....	114
2.4 SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFÍCIOS – NBR 9077, E O PROJETO DE ARQUITETURA .....	130
2.4.1 Escadas de emergência .....	136
3 REVISÃO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM NA SAÍDA SEGURA DE PESSOAS EM EDIFÍCIOS: A VENTILAÇÃO NATURAL E A FUMAÇA DE INCÊNDIO .....	137
3.1 A VENTILAÇÃO NATURAL OU A VENTILAÇÃO FORÇADA NO CONTROLE E COMBATE A INCÊNDIO .....	137
3.1.1 A fumaça de incêndio .....	151
3.1.1.1 Gases tóxicos mais comuns no incêndio e seus efeitos.....	155
3.1.2 Instrução Técnica (IT) n°. 15 – Controle de Fumaça .....	157
3.2 O MOVIMENTO DE EVACUAÇÃO E O TEMPO DE ESCAPE EM EDIFÍCIOS .....	161
4 A QUESTÃO DO ESCAPE EM EDIFÍCIOS ALTOS: A INFLUÊNCIA DA FUMAÇA DE INCÊNDIO NA PROTEÇÃO DA VIDA.....	168
4.1 DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO: PRÉDIOS ALTOS .....	168

4.1.1 Edifício Brasil 21 – Business Center Park – Bloco C .....	171
4.1.2 Commerzbank Tower.....	181
4.2 METODOLOGIA .....	195
4.2.1 Simulações computacionais de incêndio e de evacuação .....	195
4.2.1.1 Simulação computacional de incêndio.....	197
4.2.1.2 Simulação computacional de evacuação em caso de incêndio .....	199
4.2.2 Verificação e comprovação da hipótese .....	203
4.2.2.1 Dados gerais dos edifícios inseridos nas simulações.....	204
4.2.2.2 Comprovação da hipótese (resultado das simulações) .....	209
4.2.2.2.1 Análise comparativa entre os resultados das simulações do Bloco C do Edifício Brasil 21 .....	209
4.2.2.2.2 Análise comparativa entre os resultados das simulações do Commerzbank Tpwer .....	232
4.2.2.2.3 Áreas protegidas para os dois edifícios.....	259
CONCLUSÃO.....	265
REFERÊNCIAS.....	270
ANEXO.....	284
ANEXO I.....	285

## INTRODUÇÃO

O que é o fogo? O que ele representa para os seres humanos?

São várias as suas definições. Por exemplo, no Dicionário Aurélio (2009), o fogo aparece identificado como um “substantivo masculino que significa desenvolvimento simultâneo de calor e luz, que é produto da combustão de materiais inflamáveis” (item 1) ou um “clarão intenso” (item 4). Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o fogo é o “processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz” (NBR 13860/1997 – Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio). Internacionalmente, o fogo é definido como o “processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado de fumaça, chama ou ambos” (ISO 8421-1: *General terms and phenomena of fire. Genève*).

Antes que o ser humano descobrisse como produzi-lo ou controlá-lo, o fogo provocava verdadeiro terror ao ser humano, algo de cunho supersticioso, pois seu surgimento só ocorria naturalmente, pelos fenômenos da natureza.

Logo, a inteligência e a necessidade levaram o homem a encontrar no fogo certa utilidade: primeiro, pela percepção da luz que se fazia ao seu redor e do calor que transmitia ao seu corpo e, mais adiante, no preparo de alimentos e aquecimento corporal, o que garantia sua própria sobrevivência. (GOMES, 1998)

Todavia, enquanto o homem vivia nas cavernas, o risco de incêndio não existiu. O homem começou a construir moradias para seu grupo, como cabanas de palhas e madeira, e utilizava o fogo para iluminar o local próximo a essas construções rústicas, ou até mesmo dentro delas para iluminar e aquecer. A falha no controle do fogo fez surgir o incêndio.

Por incêndio, o Dicionário Aurélio (2009) destaca: “Fogo que lavra com intensidade, destruindo e, às vezes, causando prejuízos; queima”. Para a NBR 13860/1997 da ABNT, o “incêndio é o fogo fora de controle”. Já para o Internacional ISO 8421-1, incêndio significa: “[...] a combustão rápida disseminando-se de forma descontrolada no tempo e no espaço”.

O tempo e o espaço são variáveis importantes no que diz respeito à evolução do homem, principalmente no desenvolvimento das cidades e dos avanços tecnológicos da construção civil.

Com o desenvolvimento das cidades e o crescimento populacional, o espaço urbano ficou concorrido, principalmente nas metrópoles. Os terrenos tornam-se mais escassos, fato que direciona as construções na composição de edificações cada vez mais verticalizadas.

A partir do final do século XIX, uma explosão de edifícios aconteceu na cidade de Chicago, Estados Unidos da América (EUA). Arquitetos como William Le Baron Jenney, fundador da Escola de Chicago, que também era engenheiro, e Louis Sullivan, principal arquiteto da Escola, precursor de novos recursos projetuais e estruturais, deram suas valiosas contribuições ao desenvolvimento de tecnologias construtivas em relação a edifícios em altura. Louis Sullivan deixou sua marca para as gerações seguintes de arquitetos, como Frank Lloyd Wright, por exemplo.

Na década de 1880, Chicago experimentou um desenvolvimento extraordinário em termos de crescimento populacional, comércio e edificações. A procura por escritórios era grande e os edifícios altos foram surgindo um atrás do outro, de doze a vinte e três andares, principalmente no desenvolvimento do *Loop*, considerado o centro de negócios da cidade. E, a fim de atender as necessidades deste crescimento, foram utilizadas novas potencialidades construtivas que até então só haviam sido exploradas em pontes e estruturas industriais. (GIEDION, 2004)

Mesmo com aquela imagem de torres que não foram construídas isoladamente, como se via em outras cidades (como por exemplo, em Paris, França, com a Torre Eiffel, inaugurada em 1889), mas com grande proximidade entre elas, isto não apresentava um resultado caótico, e sim bastante interessante e harmonioso. (GIEDION, 2004)

Tal processo foi possível porque a tecnologia alcançada assim o permitiu. Nesta época empregou-se um novo tipo de estrutura: a ossatura metálica, ou simplesmente, a “estrutura de Chicago”, além de um novo tipo de fundação, devido à consistência do solo de Chicago: a fundação flutuante. E ainda introduziu-se a janela

horizontalmente alongada, fixadas nos elementos estruturais: as “janelas de Chicago”. (GIEDION, 2004)

Com tal avanço estrutural, que deixava de lado as paredes autoportantes<sup>1</sup> e, utilizando além do concreto armado o ferro e o aço, as edificações cresciam em alturas cada vez maiores. E os edifícios foram tomando formas e características mais ousadas e inovadoras.

Uma das descobertas mais importantes no que diz respeito à verticalidade dos prédios foi a criação dos elevadores. O elevador hidráulico, datado dos anos 1970, já no século XX, substituiu o elevador movido a vapor, o que foi um grande avanço, pois tornou possível uma melhor movimentação dentro do edifício.

Mas as escadas ainda continuaram importantes e serviriam para que, em caso de emergência, como na ocorrência de incêndios, por exemplo, os ocupantes das edificações altas tivessem um meio de escape, desejavelmente seguro.

É importante lembrar que Mies Van der Rohe, arquiteto alemão, foi um dos primeiros a utilizar um núcleo central composto de elevadores, escadas, serviços e *shafts* de instalações. (*THE ECONOMIST*, 2006)

Além da descoberta do elevador e de novos materiais construtivos e de fachada, hoje em dia os edifícios estão cada vez mais altos devido ao uso de sistemas computacionais utilizados por projetistas e construtores. Os programas computacionais são muito avançados e possibilitam diversos recursos, que além de servirem como suportes para desenhos e projetos, permitem verificar o comportamento das estruturas, desenvolver e modelar formas mais elaboradas, aplicar e comprovar dados pertinentes ao projeto.

Um dos principais avanços da área de programas computacionais são as modelagens tridimensionais, que permitem chegar a detalhes e formas mais próximas das reais.

---

<sup>1</sup> Neste sistema, são as próprias colunas das estruturas de armazenagem que suportam todos os esforços próprios do edifício, seja nas laterais ou na cobertura. Em função disso, a estrutura tem que ser estudada especialmente para que possa receber diretamente as paredes exteriores. (<http://www.gristec.com.br/glossario.php?pag=8>)

Outro ponto bastante relevante é a utilização dos programas computacionais de simulações. Realizar simulações computacionais permite avaliar e comprovar o comportamento de diversos eventos em um projeto, o que permite uma proximidade maior dos acontecimentos que podem ocorrer em determinada edificação, e torna os projetos mais viáveis economicamente, visto que, realizar simulações *in loco* necessita, na maioria das vezes, de estruturas dispendiosas.

As normas desenvolvidas por laboratórios e associações mundiais e brasileiras, como a ABNT, por exemplo, estão cada vez melhor desenvolvidas devido ao conhecimento técnico e por terem por base o desempenho, realizado na maioria das vezes, através das simulações computacionais.

Além de todas essas tecnologias desenvolvidas, foi com o projeto e construção do Edifício Commerzbank<sup>2</sup> (concluído em 1997), em Frankfurt, Alemanha, que os edifícios altos tomaram um novo rumo: os edifícios verdes e sustentáveis. (*THE ECONOMIST*, 2006)

Mas o que é edifício verde? Ou sustentável? Ou, ainda, ecológico? Diversos são os termos utilizados para descrever essa arquitetura ambientalmente responsável.

O termo “ecológico” surgiu nos anos 1960, com ênfase na restrição do desenvolvimento (preocupações associadas a crescimento populacional, poluição e resíduos). (SOBREIRA, 2009)

A partir dos anos 1970 o termo “verde” começou a ganhar força política, principalmente após a crise do petróleo, com maior enfoque sobre os recursos naturais e as fontes energéticas. (SOBREIRA, 2009)

O termo “sustentabilidade” parece ser o mais difundido e presente. Em 1987, teve sua primeira definição pelas Nações Unidas, que explicaram como sendo desenvolvimento sustentável aquele que “satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”. Mas, um dos pontos em discussão sobre essa definição foi o valor do termo “necessidades”, que variam segundo o contexto conforme o status de desenvolvimento. (SOBREIRA, 2009)

---

<sup>2</sup> Projetado por Norman Foster and Partners, escritório com sede em Londres, Inglaterra.

O termo “sustentabilidade” parece adequar melhor aos conceitos e aplicações em ambientes construídos do que os termos “verdes” e “ecológicos”, mesmo que ainda a incorporação desse termo no discurso arquitetônico pareça frágil e vaga. (STEELE, 2005)

É importante lembrar que o arquiteto é o criador da modificação do espaço para morar ou exercer uma série de atividades humanas, e deve fazê-lo pensando na satisfação dos desejos do usuário, baseado nos conhecimentos oferecidos pela tecnologia da construção e na sua cultura sobre a estética, a ética e a história. (CORBELLA; YANNAS, 2003)

E o arquiteto, mesmo antes da discussão em torno dos termos: edifícios “verdes”, “ecológicos” e “sustentáveis”, deve aplicar estratégias de conforto ambiental, como no Brasil Colonial, por exemplo, época marcada pelo regionalismo, onde apareciam os alpendres ou varandas, elementos de transição entre o ambiente interno e externo, o que garantia sombra; ou ainda, como aquilo que expressa a arquitetura moderna, que faz referência ao período colonial com a utilização de cobogós e pátios com vegetação. (RUSSO, 2010)

Com a enorme expansão das técnicas construtivas e abundância de combustível barato, após a II Guerra Mundial (1939-1945), a tecnologia dos engenheiros foi suplantando uma série de atribuições do arquiteto. Desconsiderou-se o conforto térmico do usuário, deixando essa tarefa ao engenheiro térmico (aplicação do ar-condicionado). A iluminação natural foi ignorada e substituída pela artificial, tornando-se responsabilidade do engenheiro eletricista, além de considerações do entorno em relação ao prédio. (CORBELLA; YANNAS, 2003)

Nesta época, ainda não se pensava no alto consumo de energia criado pela aplicação desse tipo de arquitetura, até porque o custo era irrisório. Mas um pequeno grupo de arquitetos que insistia em projetar edifícios adaptados ao clima local contestou tais medidas projetuais e, com o grande aumento do preço do petróleo em 1973, impulsionaram o que se chamou de “arquitetura solar”, visando a aplicação de energia solar ao edifício, economizando a energia convencional. (CORBELLA; YANNAS, 2003)

Mas adiante, tem-se a Arquitetura Bioclimática, que veio com a preocupação da arquitetura integrada ao clima local, visando o conforto ambiental do seu humano e sua repercussão no planeta. (CORBELLA; YANNAS, 2003)

A Arquitetura Sustentável aparece para dar continuidade à Arquitetura Bioclimática, aplicando as estratégias de conforto ambiental ao edifício, sejam elas térmicas, luminotécnicas, acústicas e de ventilação, como por exemplo: posição do edifício em relação ao sol e aos ventos predominantes (iluminação e ventilação natural) – protetores solares, como brises, especificação do tipo de abertura e materiais utilizados nas fachadas (envoltória do edifício); eficiência energética (placas fotovoltaicas) e economia de água (reuso); especificação de materiais recicláveis ou que não agridem o ambiente, entre outros. É a arquitetura que deseja desenvolver edificações com o objetivo de dar mais qualidade de vida ao homem naquela construção ou em seu entorno, integrado com as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído às gerações futuras. (CORBELLA; YANNAS, 2003)

Atualmente, têm-se vários certificados “verdes” e “sustentáveis”, uma espécie de incentivo aos projetistas e construtores que dedicam mais esforços para melhorar o desempenho sustentável das edificações. (REVISTA Técnica, ed. 155, Entrevista, 2010) Dentre esses, destaca-se o certificado LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), um certificado americano aplicado pelo USGBC (*United States Green Building Council*), que leva em conta o impacto gerado ao meio ambiente em consequências dos processos relacionados ao edifício (projeto, construção e operação).

O LEED é um dos certificados mais importantes do mundo. Segundo Sobreira (2010), este certificado necessita de revisão, e também deve estar adequado às necessidades brasileiras, pois os pontos considerados para avaliação do edifício analisado, por exemplo, no item inovações em projeto são de quatro num total de sessenta e nove, o que o autor considera pouca pontuação num item tão importante. A implantação do edifício, outro item da avaliação, então, tem pontuação mínima para o certificado, o que significa que um prédio com certificação *Platinum* (pontuação mais alta), por exemplo, que “mudasse” de localização, o que é bastante

relevante em sua posição solar, ganharia a mesma pontuação independentemente se atendesse as condições de conforto.

Outro certificado, brasileiro baseado na certificação francesa Démarche HQE, é o AQUA (Alta Qualidade Ambiental). É um processo de gestão do projeto implantado pela Fundação Vanzolini, com o objetivo de obter a qualidade ambiental de um empreendimento de construção ou de reabilitação.

Há também o selo desenvolvido pelo Grupo Sustentax, para identificar e atestar a qualidade ambiental de produtos e serviços prestados por construtoras e incorporadoras: o SUSTENTAX.

O PROCEL EDIFICA é um subprograma do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) do Governo Federal, que tem como missão promover a eficiência energética nas edificações brasileiras, contribuindo para a conservação de energia elétrica. Não é uma certificação, e sim, uma etiquetagem. Neste caso, não se destaca se o edifício é “verde”, mas sim, se possui eficiência energética.

Independentemente de certificações, a cultura ambiental deve ser tão arraigada que o uso de critérios de sustentabilidade em projetos não seja um diferencial. O que já acontece em países como Alemanha e Holanda, onde eles pensam que não estão fazendo mais que uma obrigação. (REVISTA Técnica, edição 155, entrevista, 2010)

Desde o final do século XX até o tempo presente, os edifícios verdes e sustentáveis estão sendo cada vez mais elaborados e construídos. E, além disso, mesmo sendo sustentáveis ou não, os edifícios estão tomando proporções cada vez maiores, em relação à altura.

Um dos fatores de risco de edificações altas é a enorme população que elas abrigam. De acordo com o arquiteto Jean Paul Veguier, seu edifício *Coeur Défense*, construído em 2001 em *La Défense*, o maior distrito de negócios de Paris, abriga em seus duzentos mil metros quadrados de escritórios, divididos em duas torres interligadas de quarenta andares cada, cerca de cem mil trabalhadores; é uma cidade dentro da cidade. (ARQUITETURAS do Mundo, Vol. 2, 2008)

Imagina-se o tempo que os ocupantes dessas edificações populosas gastariam para desocupá-la com segurança na ocorrência de incêndios, além de considerar que em edifícios altos o espaço percorrido é maior. A verticalidade dos edifícios é um agravante em relação à segurança contra incêndio, e o tempo de incêndio (propagação de fogo e fumaça) continua o mesmo. E sem contar com a dificuldade que os bombeiros encontram para resgatar pessoas em prédios de maior altura.

O projeto arquitetônico é de extrema importância na Segurança contra Incêndio. O arquiteto deve conhecer seus princípios e aplicá-los, através da utilização de normas e legislações, juntamente com os conhecimentos arquitetônicos adquiridos na teoria e na experiência profissional, como por exemplo, na especificação de materiais em paredes, coberturas e estruturas combustíveis, a proximidade entre as edificações, a compartimentação horizontal e vertical, entre outros. E, considerando as saídas de emergência, o arquiteto deve projetar de maneira que o edifício possua rotas de fuga seguras e bem planejadas e especificadas. Sem o devido cuidado, podem ocorrer problemas em relação à evacuação segura do edifício em casos de incêndio.

Segundo Ono (1996), as saídas de emergência devem ser claras e simples, evitando-se corredores tortuosos e escadas escondidas, e não devem ser totalmente dependentes das sinalizações e iluminação de emergência. As escadas devem estar, além de bem dimensionadas, bem distribuídas em planta baixa.

É importante lembrar que o fogo é capaz de destruir qualquer coisa em minutos – tudo o que o homem construiu. Não se trata somente de bens materiais, mas o fogo põe em risco a proteção da vida.

No Brasil, infelizmente foi preciso que ocorressem alguns incêndios que causaram mortes e que pessoas saíram gravemente feridas para que fossem tomadas as providências necessárias em relação às saídas de emergência em edificações de maior altura.

Foi o caso do edifício de escritórios Andraus, de trinta e um andares, na cidade de São Paulo, incendiado em 1972, onde dezesseis pessoas morreram e trezentas e setenta e cinco ficaram feridas<sup>3</sup>. A escada interna não atendeu suficientemente a população da edificação, que teve que buscar outras alternativas de escape, como subir para a cobertura e aguardarem resgate por helicóptero, fato que pode ser muito perigoso. A escada, que não possuía nenhum tipo de proteção contra fumaça e fogo, tornando-se um duto de fumaça (chaminé).

Outro caso de incêndio bastante relevante no Brasil aconteceu dois anos depois, em 1974, no Edifício Joelma, na cidade de São Paulo. O incêndio do edifício de vinte e cinco andares de escritórios deixou cento e setenta e nove vítimas fatais e trezentos feridos<sup>4</sup>. As escadas estavam na mesma situação do edifício Andraus e, diferentemente do Andraus, que possuía heliponto e muitas pessoas se salvaram, a maioria daquelas que foram para a cobertura desta edificação morreram devido ao intenso calor e à fumaça. Cerca de quarenta pessoas morreram ao pularem do alto do edifício, em pânico, para escapar do calor ou até mesmo para não se asfixiarem.

Até esta época, o Brasil estava atrasado em relação a outros países no tangente à existência de normas relativas exclusivas às saídas de emergência.

Ainda em 1974, a ABNT, por meio do Comitê Brasileiro de Construção Civil, publicou a NB 208 – Saídas de Emergência em Edifícios Altos. Em 1993, após muitas revisões e colaborações de vários profissionais e técnicos da construção civil, a ABNT aprova e publica a NBR 9077/1993, com novo nome: Saídas de Emergência em Edifícios. A norma vigente é a NBR 9077/2001<sup>5</sup>. Essa norma tem passado por revisão desde 2003.

Na Segurança contra Incêndio, as saídas de emergência são consideradas medidas de proteção passiva contra incêndio (meios de escape). (RSIP, 2000)

Para Berto (1998), as medidas passivas de proteção contra incêndio são aquelas incorporadas ao sistema construtivo, sendo funcionais durante a situação normal do edifício, e que reagem passivamente ao desenvolvimento do incêndio, não estabelecendo condições propícias ao seu crescimento e propagação, não

---

<sup>3</sup> [www.bombeirosemergencia.com.br/cronologiabombeiro.htm](http://www.bombeirosemergencia.com.br/cronologiabombeiro.htm)

<sup>4</sup> [www.bombeirosemergencia.com.br/joelma.htm](http://www.bombeirosemergencia.com.br/joelma.htm)

<sup>5</sup> Acrescenta-se à NBR 9077/1993 a Emenda de exigências sobre estruturas em concreto armado e protendido e quais legislações devem ser seguidas.

permitindo o colapso estrutural, facilitando a fuga dos usuários e garantindo a aproximação e ingresso no edifício para o desenvolvimento de ações de combate. A evacuação segura dos ocupantes de um edifício é aspecto de determinada importância no planejamento de qualquer tipo de edificação.

O risco à vida humana deve ser entendido como a probabilidade dos fenômenos associados ao incêndio (falta de oxigênio, gases nocivos, fumaça, chama e calor) provocarem ferimentos ou até a morte dos usuários do edifício e das pessoas que efetuam as intervenções de combate e resgate. (BERTO, 1998)

Analisando-se o incêndio em todas as suas fases (princípio, inflamação generalizada e extinção), faz-se importante destacar que não só o fogo é o problema na ocorrência de um sinistro, mas a fumaça produzida por ele pode ser muito pior. A fumaça é o produto da combustão que mais afeta as pessoas por ocasião de abandono da edificação. (SEITO, 2008)

A fumaça possui cinco características: é opaca (seus produtos, principalmente a fuligem, permanecem suspensos na massa gasosa diminuindo a visibilidade), tóxica (seus produtos prejudicam a respiração), móvel (porque é um fluido que está sofrendo empuxo constante, podendo atingir diferentes ambientes e propagar o incêndio), quente (eleva a temperatura a ponto de gerar novos focos de incêndio e ainda provocar danos à pele) e inflamável (porque possui subprodutos da queima capazes de reagir com o oxigênio e queimar).

A fumaça ainda pode provocar pânico durante o escape das pessoas, prejudicando suas saídas. O comportamento humano dentro de edificações em situação de incêndio pode ser dos mais variados. Normalmente, as pessoas demoram a reagir diante desta situação, como se estivessem paralisadas nos primeiros minutos, não acreditando que estejam sendo envolvidas numa situação de risco grave. Muitas vezes, o descobrimento sobre a gravidade do incêndio e qual a direção seguir em ambientes com muita fumaça tende a gerar muita tensão nervosa. (ARAÚJO, 2008)

Para que o fogo seja mantido, é preciso haver quatro elementos coexistentes entre si: combustível, comburente, calor e a reação em cadeia (Tetraedro do fogo). (SEITO, 2008)

A quantidade de oxigênio disponível para a combustão influencia diretamente na propagação e duração do incêndio. O incêndio pode ser controlado ou mantido pela ventilação, isto é, a ventilação pode ser aliada ou não a ocorrência de incêndio. (SEITO, 2008)

Considerando-se que, pelo menos 80% dos casos de morte em incêndio são causadas pelos efeitos da fumaça produzida (KATO e SEITO, 1988), acreditou-se, para este estudo, que o problema é: a estratégia bioclimática de aplicação da ventilação natural no edifício seria o maior agravante na relação edifício alto “verde” ou “sustentável” e edifício alto seguro, influenciando diretamente na proteção da vida.

Quando se relacionam estas estratégias bioclimáticas às estratégias de segurança contra incêndio em edificações, pode-se afirmar que um tipo de estratégia pode influenciar na outra quanto à sua eficiência de aplicação no edifício.

O problema considerado no presente estudo foi visualizado através de uma pesquisa sobre a “Utilização da ventilação forçada ou natural no combate a incêndio”, realizada em 2007, pelo professor George Cajaty Barbosa Braga, do Instituto de Física da Universidade de Brasília (UnB), e membro do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), utilizando-se de programas computacionais que mostravam resultados através de simulações baseadas na dinâmica dos fluídos, demonstrando que a ventilação natural cruzada aplicada na edificação pode espalhar a fumaça com mais rapidez naquele ambiente do que a ventilação natural unilateral, o que é diferente do aplicado ao conforto ambiental: a ventilação cruzada traz mais benefícios para o corpo humano devido à troca de calor.

Estabeleceu-se assim, a hipótese de que, criando um ambiente seguro (compartimentação protegida) capaz de abrigar os ocupantes do edifício até saírem todos com segurança, poderia ser uma solução para se manter a ventilação natural nos ambientes sem prejudicar as características de um edifício verde. Esta aplicação poderia ser feita tanto em edifícios novos como também em edifícios já construídos. O documento da ABNT sobre a saída de emergência em edifícios, NBR 9077/2001, prescreve uma área protegida denominada “área de refúgio”, que ainda não é muito clara em relação à sua aplicação e especificação.

A metodologia utilizada para a comprovação da hipótese é de cunho comparativo.

Foram considerados, para efeitos comparativos, dois edifícios: um exemplo de edifício alto típico de escritórios, sem as características de edifícios sustentáveis, e um exemplo de edifício alto verde.

Foram realizadas simulações computacionais de incêndio e de evacuação em caso de emergência.

Para a realização de simulação de incêndio, utilizou-se, devido à sua precisão, o *software* americano *Fire Dynamics Simulator* (FDS), desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST). O FDS é um modelador de incêndio com base em dinâmica computacional de fluidos (*Computational Fluid Dynamics* - CFD). O *Smokeview* é um programa de visualização que é usado para mostrar os resultados da simulação FDS.

Para a realização de simulação de evacuação, utilizou-se o *software* EVAC, que é um módulo do FDS, também desenvolvido pela NIST, juntamente com o Laboratório VTT, da Finlândia, que possibilita simular simultaneamente o incêndio e a evacuação. Com isso, apresentam-se resultados mais reais do que a utilização de *softwares* que simulam somente a evacuação, pois revelam-se alterações no tempo de fuga quando existe a presença de fogo e fumaça dentro do edifício.

Para a comprovação da hipótese, foram realizadas três simulações computacionais diferentes de evacuação e de incêndio, para cada edifício: a primeira, em uma simulação somente de evacuação; a segunda, em uma simulação de incêndio e de evacuação em um pavimento com as janelas fechadas; e, a terceira simulação, para incêndio e evacuação em um pavimento com janelas abertas e a colocação de uma ventilação externa a uma das faces do pavimento de acordo com dados climáticos de cada cidade onde se localizam os prédios escolhidos. Também foi inserida nesta última simulação uma área protegida (livre de fogo e fumaça) para verificar o tempo de chegada dos ocupantes em suas portas.

Comparando-se todas as simulações e chegando às conclusões finais, baseadas em desempenho, este estudo tem como objetivo apresentar soluções que deverão ser aplicadas ao projeto de arquitetura, unificando as estratégias bioclimáticas com as estratégias de segurança contra incêndio em edificações.

Assim, o presente trabalho encontra-se dividido em quatro capítulos principais e a conclusão.

O primeiro capítulo apresenta um breve histórico da evolução tecnológica do edifício em altura, como também dos edifícios altos sustentáveis, seus conceitos, estratégias e aplicações. Apresenta exemplos de edifícios em altura e suas inovações, além de explicar a Arquitetura Sustentável e a aplicação de estratégias bioclimáticas em projetos arquitetônicos.

No segundo capítulo são apresentados os conceitos e a evolução da segurança contra incêndio em edifícios altos, inclusive da exigência da área de refúgio, em algumas classes de ocupação, conforme a NBR 9077/2001. Destacam-se também exemplos de incêndios ocorridos no Brasil e no mundo, e ainda a importância do projeto de arquitetura na aplicação de estratégias relacionadas à Segurança contra Incêndio.

No terceiro capítulo tem-se uma revisão dos fatores que influenciam na saída segura das pessoas em edifícios, apresentando estudos mais recentes e aqueles que ainda valem como norma. Além disso, este capítulo apresenta uma explicação mais detalhada da fumaça de incêndio e ventilação natural.

O quarto e último capítulo é a pesquisa realizada no estudo. Apresentam-se os edifícios escolhidos para a realização das simulações computacionais e a comprovação da hipótese, utilizando-se da metodologia comparativa, com o foco no escape seguro dos ocupantes de um edifício em situação de incêndio.

O edifício “típico” escolhido é o Bloco C (Business Center) do Complexo Brasil 21, na cidade de Brasília, Brasil. A razão pela escolha deste edifício se dá pelo resultado de uma pesquisa realizada para a Dissertação de Mestrado da autora deste estudo, o qual este foi o único edifício visitado que não houve qualquer descumprimento dos itens pesquisados sobre a saída de emergência da NBR 9077/2001.

O edifício “verde” escolhido é o Commerzbank, em Frankfurt, Alemanha, devido a este ser o primeiro edifício a aplicar estratégias “verdes” em seu projeto original e que apresenta um átrio central e jardins ao longo de sua altura. Este edifício aplica a ventilação natural nos ambientes de escritórios.

Mesmo que os dois edifícios escolhidos sejam de escritórios, possuem características diferentes, principalmente de projeto, o que proporciona diferentes possibilidades de resultados.

Por fim, tem-se ao final a conclusão deste trabalho, composta através dos resultados obtidos pelas simulações e posteriores comparações entre os edifícios em altura estudados para a comprovação da hipótese.

A intenção é verificar que as estratégias de segurança contra incêndio e as estratégias bioclimáticas podem estar aplicadas dentro de um mesmo edifício, garantindo um ambiente – ao mesmo tempo – confortável e seguro.

# 1 EDIFÍCIOS EM ALTURA

## 1.1 HISTÓRICO E CONCEITOS

Quem não se lembra da história infantil de João e o Pé de Feijão, onde João desejava alcançar o mágico universo além das nuvens do gigante? Desta história infantil ao universo mítico da Torre de Babel<sup>6</sup>; dos menires pré-históricos aos arranha-céus, o ser humano, em diversos momentos, tem perseguido o desafio de vencer a altura. (BOGÉA; LOPES; REBELLO, 2006)

No que tange aos edifícios que tinha a altura como destaque, talvez a Torre de Babel seja a primeira referência existente sobre o tema; pode-se dizer que àquela edificação seria o primeiro símbolo registrado (Figura 1).

É possível ainda recordar-se da figura do King Kong no topo do Empire State Building (1931), em Nova York, Estados Unidos, trazendo em suas imensas mãos a mocinha como refém, configurando-se como a imagem, a um só tempo, de refúgio e domínio sobre a cidade por parte do macaco gigante. O filme de 1933 utiliza a recém-construída torre de 381 metros de altura projetada por Richmond Shreve, William Lamb e Arthur Harmon, com projeto estrutural de H. G. Balcom. Na refilmagem de King Kong, em 1976, o "topo do mundo" são as torres gêmeas do WTC, símbolo de poder destituído pelo atentado de 11 de setembro de 2001. (BOGÉA; LOPES; REBELLO, 2006) (Figura 2)

---

<sup>6</sup> A Torre de Babel, segundo a narrativa bíblica no livro do Gênesis, foi uma torre construída por um povo com o objetivo de que o cume chegasse ao céu, para que eles não fossem espalhados sobre toda a terra. Deus parou este projeto ao confundir a linguagem desse povo e espalhá-lo sobre toda a terra. Esta história é usada para explicar a existência de muitas línguas e raças diferentes. A localização da construção teria sido na planície entre os rios Tigre e Eufrates na Mesopotâmia (atual Iraque), uma região célebre por sua localização estratégica e pela sua fertilidade. ([http://pt.wikipedia.org/wiki/Torre\\_de\\_Babel](http://pt.wikipedia.org/wiki/Torre_de_Babel), em 08.04.2010)



A

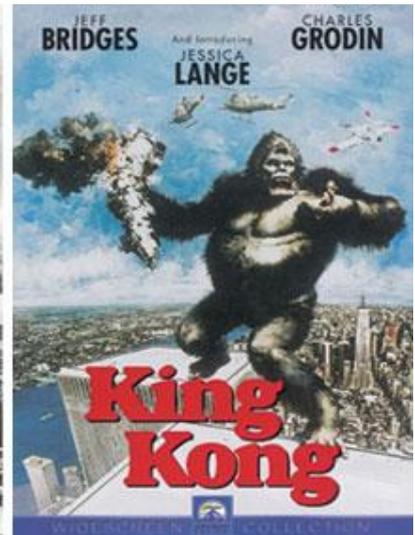


B

Figura 1 – A torre de Babel interpretada por (A) Maurits Escher (1928) e por (B) Pieter Bruegel (1563).  
 Fonte: Revista AU – edição 143 (<http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/143/arquiteturas-e-estruturas-e-histórias-22106-1.asp>)



A



B

Figuras 2 – Imagens do filme “King Kong”, de 1933 (A) e de 1976 (B).

Fonte: Revista AU – edição 143 (<http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/143/arquiteturas-e-estruturas-e-histórias-22106-1.asp>)

Desde a primitiva Torre de Babel, ou até mesmo antes dela, a urgência em atingir a distante abóbada celeste, o ultrapassar das nuvens e o olhar as estrelas de modo mais próximo, foram e continuam sendo objetivos visados pelo ser humano até os dias atuais. Trata-se de um fascínio que extrapola o universo específico das construções e exprime a ousadia humana. (ALMEIDA; BOGÉA; REBELLO, 2006)

As torres sempre foram a expressão de um forte poder religioso e político. Os edifícios em altura são objetos de curiosidade para alguns e de rejeição para outros (ARQUITETURAS do Mundo, Vol. 2, 2008). E, atualmente, nunca se construíram tantos edifícios altos. (Figura 3)



Figura 3 – Imagem representativa das fachadas dos vários edifícios altos existentes no mundo.

Fonte: Prof. Luciano Mendes Bezerra, Edifícios Altos. (<http://www.metalweb.unb.br/TallBuilds01.PDF>)

O impulso na construção de edificações que tem por destaque a altura é um sinal evidente de que o desenvolvimento chegou entre os homens. Acredita-se, não com toda essa pretensão destacada anteriormente, que o homem tem o desejo e a determinação de superar seus limites e, neste caso, são os limites técnicos e racionais, utilizando-se de ferramentas e mostrando sua capacidade de planejar, projetar e construir edificações cada vez mais altas. (SILVA, 2005)

A carência de espaço nas áreas urbanas parece ser o destino de toda grande metrópole, resultando na verticalização das edificações. (SILVA, 2005)

Françoise Fromont destaca que existem duas áreas em que “[...] as torres em altura são completamente imbatíveis: uma é a rentabilidade econômica, já que a superfície de um dado terreno é multiplicada e a outra porque representa uma eficácia espetacular.” (ARQUITETURAS do Mundo, Vol. 2, 2008)

Será que a torre ou edifício em altura, responde positivamente aos problemas demográficos do planeta? O arquiteto francês Jean-Paul Virguier salienta do presente modo:

Os homens que habitam esse planeta percebem que o território não é inesgotável. Isto é, a urbanização consome solo e é preciso ser muito moderado nesse consumo. É o drama do Japão hoje, já que o Japão considera que consumiu tanto solo, que já não tem solo suficiente para sua alimentação e atribui a culpa à urbanização mal controlada. Atualmente, a questão do consumo do território e das preocupações a respeito de seu uso tornou-se bastante central. Evidentemente a torre é uma resposta possível. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008)

Há de se destacar que tanto em Manhattan, bairro da cidade de Nova York, nos Estados Unidos da América, como em Ipanema, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, quase todos os prédios foram demolidos duas vezes em razão da valorização e do crescimento populacional ali existentes.

Hong Kong<sup>7</sup>, China, é a cidade símbolo do progresso econômico do continente asiático. Os preços dos terrenos em Hong Kong, em geral, são altos. Então, a solução para os empreendedores é atingir o potencial máximo de desenvolvimento de cada local. Assim, conforme acentua Lam Wo Hei, o arranha-céu é realmente uma boa solução nesse caso, diz o arquiteto. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008)

O arquiteto Rocco Yim concorda com tal opinião, ressaltando que os terrenos são limitados, além de pequenos, devido à geografia local (tem-se uma colina atrás e um porto na frente), não havendo possibilidade de avanço; assim, haverá grandes densidades nas áreas urbanas e, conseqüentemente, a altura torna-se uma solução. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008) (Figura 4)

---

<sup>7</sup> É importante lembrar que os britânicos primeiro ocuparam a ilha de Vitória e só depois uma pequena parte no continente (Kowloon) que veio a gerar um território muito pequeno para o desenvolvimento futuro de Hong Kong, antes de devolver para a China, após os 50 anos do tratado. Este desenvolvimento foi motivado por Hong Kong ter se tornado o terceiro pólo financeiro mundial quando sob domínio inglês, e hoje já é o segundo pólo financeiro do mundo.



Figura 4 – Vista panorâmica da cidade de Hong Kong.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Hong\\_Kong](http://pt.wikipedia.org/wiki/Hong_Kong)

Françoise Fromont destaca que é preciso resolver, de forma urgente, os problemas pertinentes ao grande déficit de residências ou escritórios de um modo que lembre um pouco a modernização do Ocidente, por exemplo, na época da industrialização e o pós-guerra. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008)

Françoise Fromont ainda considera Hong Kong uma cidade extraordinária justamente pela

[...] densidade, quantidade, proximidade, multiplicidade de arranha-céus de todos os tipos, todas as formas, todas as alturas, e isso resulta numa cidade bastante estimulante... formando um *skyline* e dando também a sensação de estar mais numa selva que numa cidade. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008)

Já na Europa, com uma população bem menor do que na China, para o arquiteto Dominique Perrault, “[...] o que falta na Europa não é arquitetura, é a população”. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008)

No ano de 1889, ano do centenário da Revolução Francesa, foi inaugurada a Torre Eiffel, em Paris, com 324 metros de altura, como arco de entrada da Exposição Universal. Projetada pelo engenheiro Gustave Eiffel, é considerada a primeira das grandes torres e anunciadora de uma nova modalidade arquitetônica. Foi totalmente construída em estrutura metálica. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008) (Figura 5)



Figura 5 – Torre Eiffel, Paris.

Fonte: [http://parisdigital.files.wordpress.com/2009/03/torre\\_eiffel.jpg](http://parisdigital.files.wordpress.com/2009/03/torre_eiffel.jpg)

O arquiteto Jean Nouvel, em uma palestra para jovens arquitetos em Paris, destacou que 95% das torres no mundo seguem a uma mesma tipologia: a tipologia das grandes torres americanas. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008) Chicago, nos EUA, destaca-se como o berço dos primeiros edifícios altos.

É importante destacar o período de 1830, quando o núcleo urbano foi construído sobre uma malha em tabuleiro de xadrez, onde várias cidades americanas foram concebidas baseadas neste tipo de desenho urbano.

Em 1871, um grande incêndio destrói praticamente toda a cidade de Chicago, as antigas construções em madeira são devastadas. A cidade investe em sua reconstrução nos anos 1880.

Nesta época, Chicago já era considerada um grande centro financeiro e pólo industrial, mas em nenhum outro momento, desde 1830, a cidade experimentou um desenvolvimento tão extraordinário em termos de aumento de população, comércio e edificações, como em 1882. A demanda de escritórios era alta. Até mesmo antes da construção de um edifício estar concluída, todas as salas já se encontravam alugadas. Era um edifício surgindo atrás do outro. (GIEDION, 2004)

Durante a década de 1880, toda uma colônia de edifícios subitamente irrompeu em Chicago, atingindo a altura de doze, catorze, dezesseis e vinte e três andares. Esses edifícios não foram construídos isoladamente, como em outras cidades, mas em estreita proximidade uns dos outros. Cada um possuía um aspecto particular e um nome próprio, e ainda assim, o conjunto não resultava caótico. Este crescimento se deu no grande centro de negócios de Chicago: o *Loop*. (Figura 8)



Figura 6 – O centro de negócios de Chicago: Loop (nos dias atuais).

Fonte: <http://www.stitch.luc.edu/depts/ministry/isi/auction/images/chicagoloop.jpg>

Grandes edifícios de escritórios para firmas de negócios e companhias de seguro foram os primeiros a aparecer. Edifícios de iguais proporções logo despontaram, a fim de atender a outras exigências, como hotéis e apartamentos. (GIEDION, 2004)

E para atender as necessidades que surgiam neste grande centro, cresceu a vontade de utilizar as novas potencialidades construtivas que até então só se viam em pontes e indústrias. (GIEDION, 2004)

A arquitetura da Escola de Chicago é até hoje ponto de referência devido às suas inovações na construção civil. A Escola de Chicago está vinculada à criação do edifício de escritórios moderno. Todos os tipos de problemas de engenharia configuravam na solução alcançada pelos edifícios de Chicago.

O fundador da Escola de Chicago, William Le Baron Jenney, antes engenheiro, e depois arquiteto, possuía um profundo e completo conhecimento técnico. Os futuros arquitetos de Chicago receberam treinamento no escritório de Jenney. Ele desempenhou um papel importante no treinamento da geração mais jovem de arquitetos de Chicago, semelhante ao de Peter Behrens, na Alemanha, por volta de 1910, ou de Auguste Perret, na França. (GIEDION, 2004)

Jenney deu aos jovens arquitetos o preparo necessário para lidar com os novos problemas, aos quais as escolas não podiam oferecer nenhuma solução. Mesmo assim, a imaginação e a coragem de William Le Baron Jenney não são suficientemente reconhecidas hoje. (GIEDION, 2004)

Louis Sullivan, considerado o principal arquiteto da Escola de Chicago (*THE ECONOMIST*, 2006), descreve Jenney mais como um perito do que como um arquiteto, e em Chicago, Giedion (2004) relata que um dos colaboradores de Sullivan disse a ele que Jenney não tinha nenhuma sensibilidade para o detalhe e ornamento.

Louis Sullivan, assim como todos os membros da Escola de Chicago, foram os primeiros a fazer uso expressivo das novas potencialidades técnicas em edifícios que constituíram componentes essenciais da estrutura do cotidiano da cidade. Os edifícios em altura produzidos por eles, cobriram toda a zona comercial com uma nova arquitetura, mudando completamente a fisionomia de uma grande cidade moderna. Criaram o moderno edifício comercial e administrativo e, com uma ousadia surpreendente, a Escola de Chicago lutou para produzir formas puras, formas que fundiriam a estrutura e a arquitetura numa expressão única. (GIEDION, 2004)

É importante destacar que não somente os edifícios de escritórios foram o destaque no desenvolvimento produzido pela Escola de Chicago. Houve a criação de edifícios de apartamentos e de edifícios mistos, como de escritórios-hotel, escritório-teatro-hotel. (*THE ECONOMIST*, 2006)

Em relação à questão, Françoise Fromont assim destaca:

Não podemos mais fazer torres com uma só atividade. É preciso multiplicá-las por todas essas razões de diversidade, diversidade de atividades contínuas ao longo do dia e diversidade arquitetônica também. Aliás, isso está sendo feito, isso já foi feito na história, pensem nos arranha-céus novaiorquinos: lembrem-se de que os arranha-céus de Manhattan empilham no interior de sua estrutura múltiplas atividades, de todo tipo, que vão de hotéis a residência, passando por piscinas e até campos de golfe. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008)

Atualmente, não há limite para a imaginação dos arquitetos. Para o engenheiro Jean-Marc Jaeger, “[...] o papel do engenheiro estrutural é de se adaptar a todas essas ‘fantasias’, no bom sentido, para conseguir fazer uma obra efetivamente estável e funcional a um custo que seja realista.” (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008)

É um equívoco pensar que um prédio alto seja simplesmente o empilhamento de “pavimentos-tipo” bem projetados.<sup>8</sup> (SILVA, 2005)

Desde 1997, com a inauguração do Edifício Commerzbank, em Frankfurt, Alemanha, projetado por Norman Foster *and Partners*, outro ponto de vista incorpora os edifícios em altura: os edifícios verdes e sustentáveis<sup>9</sup>.

A preocupação com o meio ambiente, com a construção de edificações sustentáveis, é hoje peça fundamental em elaboração de projetos pelos arquitetos, e pode-se dizer que, atualmente, há uma cobrança maior por parte de diversos órgãos e até mesmo de profissionais ligados à construção civil, da aplicação de estratégias de conforto ambiental e de sustentabilidade.

A economia de energia e água em edifícios está diretamente ligada ao edifício sustentável.

Devido a tal abordagem em relação a edifícios verdes e sustentáveis, o projeto de arquitetura ganha força e é peça chave para garantir um ambiente melhor favorável no que tange à moradia ou trabalho. Depende de como as estratégias de conforto ambiental são aplicadas à edificação, de como se dá a implantação no

---

<sup>8</sup> Vide item 1.2 - Técnicas construtivas e avanços tecnológicos aplicados em projetos de edifícios altos, neste capítulo.

<sup>9</sup> Vide item 1.3 - Edifícios verdes e sustentáveis, neste capítulo.

terreno de acordo com a orientação solar, garantindo maior iluminação e ventilação natural (economia de energia – menos uso de iluminação artificial e ar-condicionado), previsão de protetores solares (brises), reuso de águas pluviais, entre outros aspectos.

A forma do edifício também influencia diretamente nas condições de conforto no ambiente interno do edifício. Mas, independentemente do edifício em altura ser sustentável, ele abriga uma grande população em seu interior. A altura é um ponto bastante relevante em relação à saída segura de sua população em situação de incêndio, pois é preciso vencer um grande caminho para se chegar à parte externa do edifício. Isso necessita de um tempo evidentemente maior do que em edificações térreas ou mais baixas.

As circulações horizontais e verticais são elementos do projeto arquitetura que influenciam diretamente na movimentação de seus ocupantes, tanto em sua rotina como em situação de emergência, quando a população do prédio deverá deixar a edificação o mais rápido possível e com segurança.

Além de todas essas inovações técnicas e avanços tecnológicos, também emerge um crescimento científico no que diz respeito aos fenômenos do fogo e às saídas de emergência, que fazem parte do partido desde a criação de um primeiro prédio alto, mesmo que a princípio a escada tivesse somente a função de vencer os diversos pavimentos.

O número elevado de pessoas que abrigam os edifícios, as circulações, os acessos, a estrutura, o sistema elétrico, o sistema hidráulico e de esgoto e de segurança contra qualquer emergência, são particularidades que tornam as soluções de arquitetura e de engenharia muito mais complexas em edifícios altos. (SILVA, 2005)

Em relação aos sistemas prediais, a concepção e as soluções de projeto são muito diferentes daqueles de edifício de pequeno porte. Fatores como as grandes distâncias a serem percorridas para abastecimento de água e o excesso de pressão nas redes podem causar mudanças significativas no desempenho dos sistemas, e devem ser observadas tanto no nível dos projetos como da obra. (SILVA, 2005)

A arquitetura e a engenharia, em todas as suas especialidades, devem andar juntas quando se elaboram projetos de edifícios em altura. Segundo Paul Andreu, “[...] todos querem construir ‘nas alturas’. [...] os recordes de altura estão aí para serem quebrados”. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008)

E para que esta junção ocorra, todos os profissionais da construção civil precisam estar tecnicamente preparados.

“E o homem tem o desejo de ir mais alto, de se superar, de exorbitar sua criatividade, de testar materiais ao limite de sua ruptura”. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008)

## 1.2 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS E AVANÇOS TECNOLÓGICOS APLICADOS EM PROJETOS DE EDIFÍCIOS ALTOS

A tecnologia é ferramenta necessária no surgimento de edifícios altos, que apresentam diversas formas e diversos partidos.

Três tipos de mudanças têm participado da realidade do caminho dos projetos de edifícios altos: elevadores, materiais e uso de programas computacionais. (*THE ECONOMIST*, 2006)

Os edifícios altos dependem sempre da evolução da tecnologia dos elevadores para ir até o ponto mais alto da edificação; o primeiro elevador hidráulico, em 1970, tornou isso possível, indo mais alto que os elevadores movidos a vapor até então existentes<sup>10</sup>. (*THE ECONOMIST*, 2006)

---

<sup>10</sup> O primeiro elevador de resultados satisfatórios surgiu em 1853, criado por Elisha Graves Otis (Empresa Otis). Esse elevador foi apresentado pela primeira vez no Palácio de Cristal da Exposição de Nova York, neste mesmo ano. Sendo considerado o primeiro elevador de passageiros, em 1857, ele foi instalado numa loja de departamentos na esquina da Broadway com Broome Street, em Nova York. Na Europa, o primeiro elevador foi instalado em 1867, na grande exposição de Paris daquele ano. (GIEDION, 2004)

Entretanto, as restrições na capacidade de um elevador em percorrer meio quilômetro é menor do que quanto tempo as pessoas precisam esperar no *hall* do 50º andar, por exemplo. Por isso, faz-se necessário o avanço tecnológico dos elevadores com o objetivo de se alcançar as possibilidades de aceleração de seu caminho ao longo do edifício.

A grande maioria das torres altas tem pelo menos dois conjuntos de elevadores: um para os andares mais baixos e outro para os mais altos. Nos edifícios altos localizados na Ásia (lugar onde estão presentes um número considerável de arranha-céus em todo o mundo), tal fato ainda significa esperá-los por algum tempo. Então, engenheiros organizaram dois ou mais elevadores para cada *hall* de elevadores, e construíram salas, chamadas “*sky lobbies*” onde os passageiros cruzam entre os elevadores para fazerem o percurso inteiro de descida ou subida. (*THE ECONOMIST*, 2006)

Soluções cada vez mais elaboradas vêm surgindo para a operação de elevadores. Na Finlândia, por exemplo, uma empresa de elevadores desenvolveu um sistema que envia mensagens aos celulares das pessoas que entram no edifício informando a rota que devem seguir para chegarem ao local desejado. Na sede do Banco Central brasileiro, na capital daquele país, foram instalados elevadores deste tipo após recente *retrofit*.

Outro recurso bastante importante e que faz toda a diferença, é o uso de programas computacionais. O uso dessa ferramenta permite projetar, analisar, comprovar e avaliar projetos e cálculos para construção de edifícios cada vez mais altos.

As formas diferenciadas dos edifícios de hoje só foram possíveis através do auxílio de programas computacionais. Mas, antes da chegada dos sistemas computacionais, para os projetos que precisariam de alguma modificação seria necessário fazer outros diversos desenhos para corrigi-los.

Nesse sentido, tem-se como grande inovação a elaboração de desenhos tridimensionais, o que de maneira bastante real, permite desenvolver projetos cada vez mais ricos em detalhes, seja no aspecto arquitetônico e/ou estrutural, sanando eventuais problemas de um projeto. Sem a utilização desta ferramenta computacional, só seria possível descobri-los durante a execução da obra.

Atualmente, a computação gráfica, devido à sua praticidade, é empregada na fase de concepção, desenvolvimento, análise e apresentação de projetos. Todos os elementos do edifício podem ser analisados pelos programas computacionais, como sua implantação, seu posicionamento em relação ao sol, análise de aplicação de protetores solares, ventilação natural, entre outros aspectos puramente estéticos.

Os *softwares* ainda possibilitam diversos usos, sendo um deles a simulação computacional. As simulações computacionais existem em diversas áreas da arquitetura e engenharia. Engenheiros podem usá-las para testar como uma construção, por exemplo, se comporta em uma situação de incêndio, utilizando a dinâmica dos fluidos, e também na colisão de avião (fato considerado devido ao atentado de 11 de setembro de 2001, nas torres gêmeas do World Trade Center, em Nova York, EUA). (Figura 7)

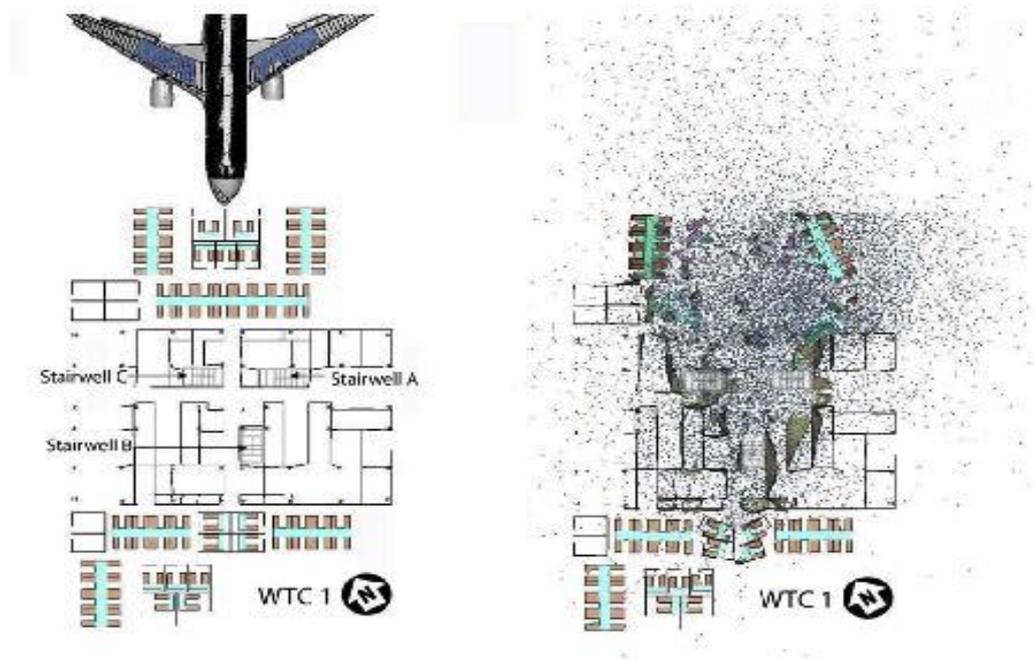


Figura 7 – Impacto do avião na Torre Norte em planta baixa em relação ao poço de escadas (simulação feita por computador).

Fonte: Occupant Behavior, Egress, and Emergency Communications, comentários publicados pelo NIST NCSTAR 1-7 (rascunho) em 2005, p.77.

Quando a principal torre do Canary Wharf<sup>11</sup>, o prédio One Canada Square (Figura 8), foi proposta nos anos 1980 por uma construtora qualificada em edifícios altos, de acordo com Peter Bressington, da construtora Arup, ninguém era capaz de prever acertadamente quanto tempo o edifício seria evacuado se houvesse um incêndio. Atualmente, a Arup, como também outras construtoras, possui recursos computacionais e técnicos para simular, por exemplo, um incêndio que começaria no 35º andar do edifício, os elevadores não funcionariam e um pouco mais de mil pessoas teriam que descer até o térreo e, ao final, obteriam-se os resultados do tempo gasto nesta situação. (The Economist, 2006)



Figura 8 – One Canada Square, Canary Wharf, Londres

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Canary\\_Wharf](http://pt.wikipedia.org/wiki/Canary_Wharf)

A simulação computacional tem como principal vantagem a análise por desempenho, custa bem menos perto de simulações *in loco*, e os resultados são obtidos antes da construção estar pronta, podendo os erros de projeto serem sanados previamente.

---

<sup>11</sup> Complexo de edifícios comerciais localizado na cidade de Londres. Inglaterra.

É importante destacar que algumas técnicas de elaboração de projetos, como a elaboração de croquis e, muitas vezes, a necessidade de confecção de maquetes artesanais, volumétricas ou não, não devem ser esquecidas por arquitetos com o uso do computador.

Os materiais de construção são as outras inovações relacionadas ao projeto de edifício em altura. Os materiais que compõem a parte estrutural do edifício alto, com o tempo, foram sofrendo inovações e algumas mudanças em relação a sua aplicação. A estrutura é um item extremamente importante em relação a um bom desempenho e validação do edifício em altura; é um dos primeiros estágios na concepção do projeto. Ela influencia e até pode definir a forma do partido arquitetônico.

Conceber uma obra significa necessariamente pensar uma intenção de estrutura. Toda construção pressupõe uma estrutura, um material e uma técnica que a caracteriza. Assim, a estrutura e arquitetura nascem juntas no momento do projeto. Embora óbvio, trata-se de um aspecto nem sempre consciente de quem projeta, como se a estrutura pudesse vir a posteriori. (BOGÉA; LOPES; REBELLO, 2006)

Na Escola de Chicago, o engenheiro e arquiteto William Le Baron Jenney, mesmo sem riqueza de detalhes arquitetônicos e traços estilísticos, deu a primeira solução ao problema da estrutura independente em grandes edifícios em seu Edifício Leiter, de 1889. (GIEDION, 2004) (Figura 9)



Figura 9 – Edifício Leiter, em 1889. Chicago, EUA.

Fonte: GIEDION, 2004.

Com o surgimento desta edificação, a ossatura (esqueleto estrutural) se torna um meio de expressão arquitetônica.

Neste edifício não havia sequer uma parede autoportante. Jenney conseguiu resolver uma fachada de 120 metros de comprimento e oito andares por meio do uso de unidades amplas e simples. A ossatura determina os acentos dominantes do edifício, evidentes nos imensos quadros em que a fachada é dividida, os quais são preenchidos por janelas de vidro separadas somente por colunas metálicas à prova de incêndio. (GIEDION, 2004)

Sobre esta edificação, Giedion (2004) assim descreve: “[...] projetado para oferecer espaço, luz, ventilação e segurança”. Sua importância não consiste em sua altura, mas sim na identidade entre o que é expresso na estrutura e na arquitetura.

O edifício de apartamentos de Le Corbusier (1932), em Genebra, Suíça, denominado Maison Du Verre, representa uma etapa posterior desta revolução: o emprego da ossatura estrutural como meio arquitetônico, como elemento da arquitetura contemporânea. (GIEDION, 2004) (Figura 10)



Figura 10 – Edifício Maison du Verre, 1932. Genebra, Suíça.

Fonte: GIEDION, 2004.

A figura 11 retrata a ossatura (esqueleto estrutural) desenvolvida pela Escola de Chicago.

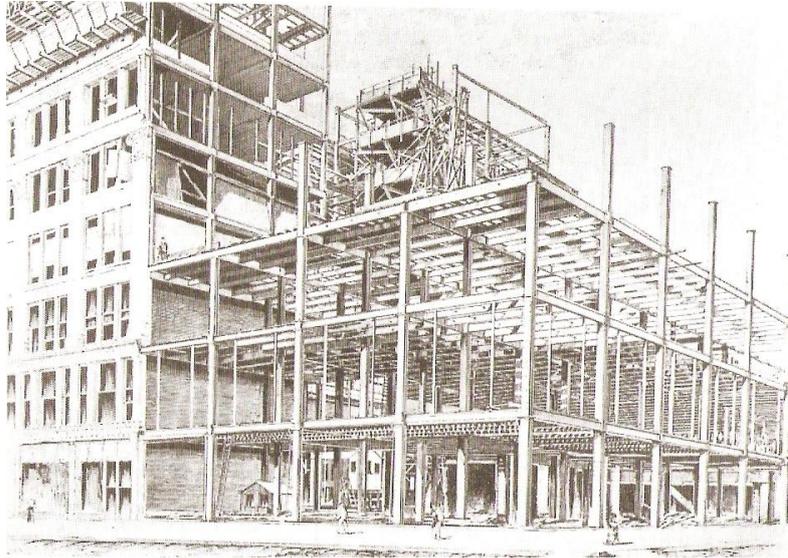


Figura 11 – Ossatura. Edifício Fair, 1891. Chicago, EUA.

Fonte: GIEDION, 2004.

O Edifício Reliance, de 1894, de Daniel Burnham e Associados, foi o reflexo do alto nível arquitetônico alcançado naquela cidade. (Figura 12)



Figura 12 – Edifício Reliance, 1894. Chicago, EUA.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Daniel\\_Burnham](http://pt.wikipedia.org/wiki/Daniel_Burnham).

O edifício é uma torre de vidro de 15 andares. Neste edifício, as janelas sacadas não aparecem mais isoladamente, se projetam o suficiente para captar luz e são integralmente incorporadas ao corpo de vidro do edifício. (GIEDION, 2004)

Vale destacar ainda o esboço de Mies Van der Rohe, um arquiteto alemão, para uma torre de vidro, em 1921, cujo espírito tinha sido antecipado pelo Edifício Reliance. (Figura 13)

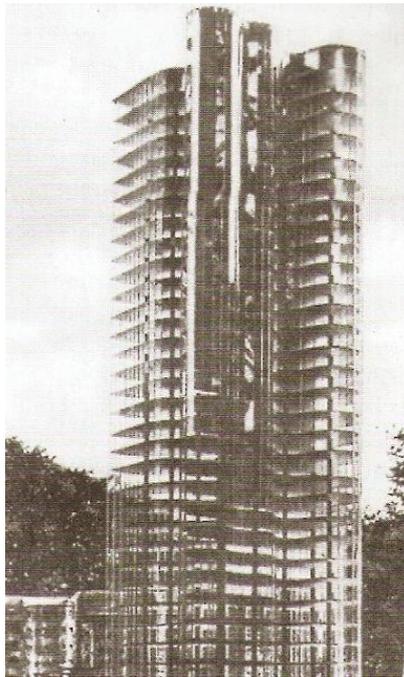


Figura 13 – Projeto para uma torre de vidro, 1921, de Mies Van der Rohe.

Fonte: GIEDION, 2004.

Mies Van der Rohe, em sua época, começava a aplicar a idéia de um núcleo central na edificação composto de elevadores, escadas e instalações. (*THE ECONOMIST*, 2006)

Em 1873, um jovem arquiteto iniciante, Louis Sullivan, trabalhou no escritório de Jenney a fim de despertar as funções suprimidas. Sullivan foi o grande arquiteto da Escola de Chicago e deixou sua marca sobre a geração seguinte de arquitetos da região<sup>12</sup>. Frank Lloyd Wright emergiria como figura de destaque nesta geração. Alguns de seus edifícios podem ter servido como revelação para a geração que

---

<sup>12</sup> Frank Lloyd Wright emergiria como figura de destaque desta geração.

crecia na Europa, que também avançava em inovações tecnológicas. (GIEDION, 2004)

Em seus edifícios mais famosos – desde o Wainwright, em Saint Louis, EUA (1890-1891), até o Prudential, em Buffalo, EUA (1894-1895), e o Edifício Bayard, em Nova York, EUA (1897-1898), Sullivan acentuou os elementos verticais do projeto, enfatizando as pilastras de canto, fazendo uso de pilares esbeltos e conferindo a todo o edifício uma orientação estritamente verticalizante, um movimento tão marcado quanto o das catedrais góticas. (GIEDION, 2004) (Figura 14)



Figura 14 – Edifício Wainwright, de Louis Sullivan

Fonte: [http://pt.wikilingue.com/gl/Louis\\_Sullivan](http://pt.wikilingue.com/gl/Louis_Sullivan)

Porém, em sua obra, a ossatura, seja em ferro, aço ou concreto armado, constitui uma rede espacial essencialmente neutra.

Em seu projeto da Loja de Departamentos Carson, Pirie & Scott, em Chicago, EUA, entre 1899-1904, últimos produtos da Escola de Chicago, Sullivan não se ateve às suas tendências pessoais, como os elementos verticalizados, e sim caracterizou tal obra como sendo um equilíbrio neutro e imparcial inerente à ossatura estrutural. (Figura 15)



Figura 15 – Loja de departamentos Carson, Pirie & Scott. Chicago, EUA.

Fonte: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carson\\_Pirie\\_Scott\\_building,\\_Chicago,\\_Illinois\\_-\\_Louis\\_Sullivan.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carson_Pirie_Scott_building,_Chicago,_Illinois_-_Louis_Sullivan.jpg).

Em geral, além da ossatura metálica, chamada simplesmente naquela época, de “estrutura de Chicago”, e as janelas horizontalmente alongadas – “as janelas de Chicago” –, os arquitetos da Escola de Chicago inventaram um novo tipo de fundação, a fundação flutuante<sup>13</sup>, uma solução para lidar com o problema de consistência do solo de Chicago.

Ainda em relação à estrutura do edifício em altura, pode-se fazer uma comparação com as pontes. Para as pontes vencerem vãos – as pontes são construções ditas horizontais – significa suportarem pesos e serem capazes de transferi-los para outros pontos: os apoios. Este é o principal desafio do projeto estrutural de pontes. Já para as torres, a transferência da força-peso para o apoio se dá de modo tranquilo, pois a torre encontra-se na direção que a força-peso percorre. Por outro lado, é o vento (outro carregamento) o ponto crucial, pois a torre torna-se

<sup>13</sup> Fundação flutuante: tipo especial de fundação, cujo principio de estabilidade consiste na distribuição de cargas para o terreno, em valor igual ao do volume de terra escavado para sua execução. (<http://www.jusbrasil.com.br/diarios/2666644/dou-secao-2-14-06-1955-pg-2>)

um grande obstáculo em seu caminho. Enquanto na ponte existem dois campos de apoio, na torre só existe um ponto de apoio – na fundação. Portanto, a transferências de cargas transversais nas torres, mais especificamente, os ventos e os sismos, tornam-se mais desafiadoras, ou seja, do ponto de vista de dimensionamento estrutural, o edifício é considerado alto quando a influência de cargas assume uma importância considerável. (BOGÉA; CORBELLÁ; REBELLO, 2006)

É muito difícil estabelecer o limite de um prédio alto; muitas normas, como a brasileira, deixam em aberto esse critério. O entendimento de uma torre como estrutura vertical – seja ela um farol ou um edifício de uso múltiplo – deve-se mais à proporção entre o menor lado de sua base e sua altura. Num edifício com  $h=20\text{m}$  e base de  $15\text{m} \times 10\text{m}$ , a rigidez por si só diminui a importância dos efeitos dos ventos e o risco de flambagem<sup>14</sup>, o que já não ocorre com um edifício de  $h=20\text{m}$ , com base de  $4\text{m} \times 10\text{m}$ . Uma proporção que nos parece adequada para considerar um prédio alto ocorre com relação altura/base superiores a 5:1 (5 = altura e 1 = menor lado da base). (BOGÉA; CORBELLÁ; REBELLO, 2006)

Um componente importante na estrutura dos edifícios altos é o contraventamento, que, como o próprio nome indica, é um elemento ou conjunto de elementos que se agrega ao sistema estrutural principal com a função de absorver os esforços provocados pelas cargas de vento fora do plano da estrutura principal.

Devido às descobertas tecnológicas, atualmente é possível a realização de um ensaio em túneis de vento; o que acrescenta dados a norma brasileira NBR 6123 – Forças Devidas ao Vento em Edificações, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A escolha pelo tipo de ensaio é determinada pela análise do projeto arquitetônico. A etapa seguinte é a de projeto e construção do modelo reduzido, em escala e reproduzindo os detalhes geométricos relevantes. (Figura 16)

---

<sup>14</sup> Denomina-se flambagem o fenômeno de perda de estabilidade da barra (deslocamento lateral do eixo) quando submetida a forças de compressão axial. (BÓGEA, CORBELLÁ & REBELLO, 2004)



Figura 16 – Modelo reduzido de um projeto e o túnel de vento.

Fonte: REVISTA Técnica, ed. 156, março de 2010

A configuração estrutural e arquitetônica real determina o tipo de modelo a ser ensaiado. (REVISTA Técnica, ed. 156, 2010)

Quando é necessário reproduzir somente a forma, o modelo é rígido. (Figura 17)



Figura 17 – Modelo rígido: ensaio de edifício e entorno.

Fonte: REVISTA Técnica, ed. 156, março de 2010

O túnel de vento permite medir a distribuição de pressões na envoltória, as pressões internas na edificação, as forças e momento nas fundações, as frequências de ressonância, a amplitude de vibração da estrutura, entre outros efeitos. (REVISTA Técnica, ed. 156, 2010)

Os resultados dessas simulações podem determinar alterações nos projetos de estrutura e arquitetura quando, por exemplo, as condições do entorno provoquem pressões que demandem reforços estruturais ou que a forma arquitetônica de um edifício leve à aceleração do vento num corredor de passagem entre edifícios.

Segundo Marcos Tadeu Pereira, pesquisador do túnel de vento do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT/SP), “[...] o mesmo modelo pode ser ensaiado para determinar a carga de vento na estrutura e nas fundações, onde geralmente a pressão média é mais importante, ou para dimensionar as esquadrias, onde os picos de pressão são relevantes”. (REVISTA Técnica, ed. 156, 2010)

Em edifícios altos e esbeltos, estruturas com formas esféricas ou cilíndricas, assim como pontes estaiadas, geralmente demandam ensaio em túnel de vento como forma de garantir a segurança da solução prevista em projeto. (REVISTA Técnica, ed. 156, 2010)

Alguns edifícios altos no Brasil tiveram suas estruturas testadas em túnel de vento, como por exemplo, o Birmann 21 (Figura 18) e a E-Tower (Figura 19), ambos localizados na cidade de São Paulo.



Figura 18 – Edifício Birmann 21 (149m de altura), concluído em 1996. São Paulo, Brasil.

Fonte: <http://www.manutencione.com.br/portfolio.htm>



Figura 19 – E-Tower (150m de altura), concluído em 2005. São Paulo, Brasil.

Fonte: <http://meetingrooms.regus.com.br/locations/BR/SaoPaulo/SaoPauloETowerFunchal.htm>

Destaca-se como um problema previsto em ensaios de túnel de vento a preocupação com a eficiência energética, relacionada à sustentabilidade<sup>15</sup>, muito discutida atualmente. Através dessas simulações, é possível identificar o local ideal para geradores, conforme o desempenho das estruturas e máquinas geradoras sob ventos fortes para instalação da energia eólica, além de calibrar os anemômetros<sup>16</sup>.

É importante salientar que a velocidade do vento considerada para cálculo estrutural em prédios altos é bem diferente e bem maior que a velocidade do vento considerada no conforto ambiental.

O arranha-céu Bahrain World Trade Center, elaborado pelo escritório britânico Atkins, com 240 metros de altura, possui turbinas eólicas e foram construídas para que os ventos do Golfo Pérsico suprissem até 15% da energia consumida pelo próprio prédio, representando 1,3 mil MWh por ano, suficientes para iluminar 300 casas e deixar de emitir 55 toneladas de carbono anuais. (REVISTA Técnica, ed. 141, dez. 2008) (Figura 20)

---

<sup>15</sup> Vide item 1.3 Edifícios verdes e sustentáveis neste capítulo.

<sup>16</sup> Instrumento para medir a velocidade ou a força do vento. (Dicionário Aurélio, 2009)



Figura 20 – Turbinas eólicas incorporadas no arranha-céu Bahrain World Trade Center.

Fonte: Revista Técnica, edição 141, dezembro de 2008.

Ainda em relação à estrutura, faz-se importante destacar as suas diversas tipologias: torres em tubos, torres em lâminas e cascas, torres em pórticos, treliças e cabos. (BÓGEA; LOPES; REBELLO, 2006).

Como exemplos de torres em tubo: as extintas torres gêmeas do World Trade Center (Figura 21) e o Edifício Sears Tower (Figura 22), em Chicago, EUA, de 1974, projetos do escritório Skidmore, Owings & Merrill (SOM).



Figura 21 – World Trade Center – Torres Gêmeas. New York, EUA.

Fonte: <http://www.beethamtower.org/blog/20-famous-skyscrapers-reproduced-in-lego.html>



Figura 23 – Sears Tower.

Fonte: BÓGEA, M., LOPES, J. & REBELLO, Y. *Arquiteturas da Engenharia ou Engenharias da Arquitetura*. Editora Mandarin. São Paulo, 2006.

Nesses dois casos, a estabilidade dos edifícios não é dada apenas por um único tubo, mas por um conjunto de pseudotubos (um tubo formado por barras). (BÓGEA; LOPES; REBELLO, 2006). (Figura 23)

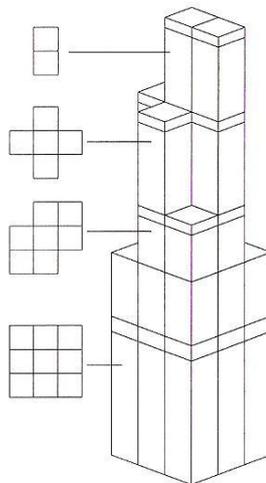
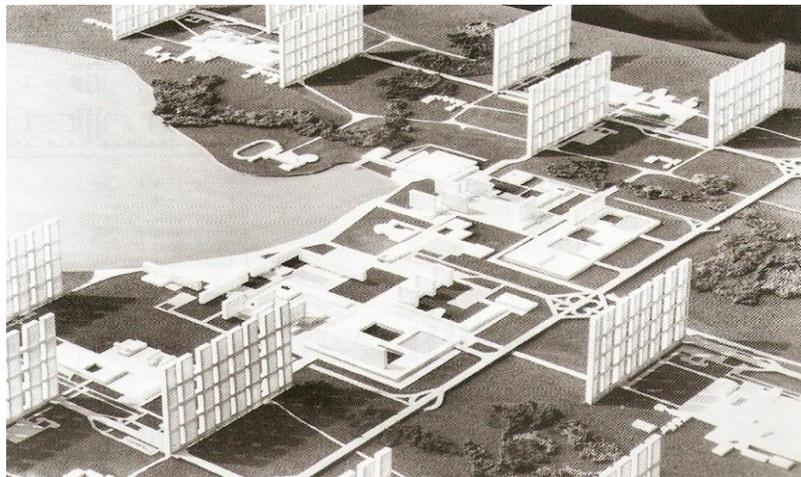


Figura 23 – Esquema do Sears Tower: a quantidade de tubos vai diminuindo nos pontos mais altos do edifício.

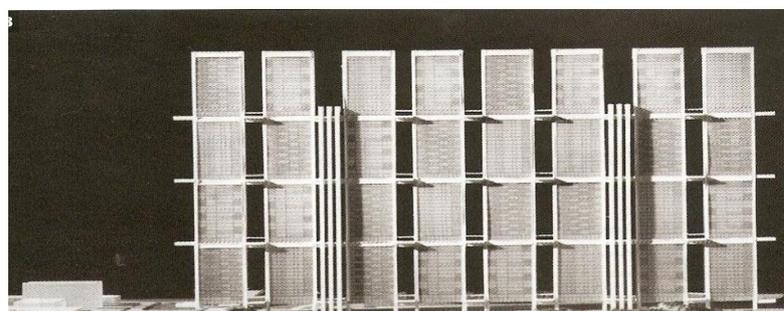
Fonte: BÓGEA, M., LOPES, J. & REBELLO, Y. *Arquiteturas da Engenharia ou Engenharias da Arquitetura*. Editora Mandarin. São Paulo, 2006.

As torres em lâminas e cascas apresentam uma geometria estrutural, na qual, duas de suas dimensões prevalecem em relação à terceira – a espessura. São eficientes para travamento em apenas uma direção (no seu plano), necessitando algumas medidas para eu possa ser espacialmente eficientes. (BÓGEA; LOPES; REBELLO, 2006)

Um dos exemplos de torres em lâminas e cascas é o projeto do conjunto de edifícios proposto para o concurso de Brasília de Rino Levi. São conjuntos de lâminas de 300 metros de altura, 400 metros de largura e 18 metros de profundidade, compostos por diversos edifícios conectados por grandes treliças metálicas (com perfis laminados) de aproximadamente 4 metros de altura. (Figuras 24 e 25)



A



B

Figuras 24 – Maquete de Brasília para Concurso da Nova Capital do Brasil – Rino Levi e equipe – 3º lugar no concurso. (A) Implantação; (B) Fachada.

Fonte: BÓGEA, M., LOPES, J. & REBELLO, Y. Arquiteturas da Engenharia ou Engenharias da Arquitetura. Editora Mandarim. São Paulo, 2006.

Outro exemplo de torres em lâminas e cascas é o edifício do Hong Kong and Shanghai Banking Corporation, em Hong Kong, China, do arquiteto Norman Foster. (Figura 25)



Figura 25 – Hong Kong and Shanghai Banking Corporation. Hong Kong, China.

Fonte: [http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbi.cgi/Hongkong\\_and\\_Shanghai\\_Ban.html/cid\\_hksb\\_001.html](http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbi.cgi/Hongkong_and_Shanghai_Ban.html/cid_hksb_001.html)

A solução estrutural do Hong Kong e Shanghai Banking Corporation foi o atirantamento dos andares, ao invés de apoiá-los sobre pilares, tal como o projeto do concurso para a Nova Capital do Brasil, de Rino Levi, em diferente proporção.

Já as torres em pórticos assemelham-se às torres em tubos. Quando por necessidades arquitetônicas ou até mesmo por economia o tubo é substituído pelo pseudotubo, as paredes podem também tornarem-se “pseudoparedes”, isto é, paredes formadas por barras (vigas e pilares). A pseudoparede é o conhecido pórtico. (BÓGEA; LOPES; REBELLO, 2006)

Um exemplo de pórtico clássico é o edifício Lake Shore Drive, de Mies Van der Rohe (1948-1951), em Chicago, EUA. (Figuras 26 e 27)



Figura 26 – Estrutura do Lake Shore Drive Apartments, Mies Van der Rohe.

Fonte: <http://www.900910.com/origins.php>



Figura 27– Lake Shore Drive Apartments, Mies Van der Rohe.

Fonte: <http://mintaka.sdsu.edu/faculty/erics/web/arcchicago.html>

Outra tipologia estrutural é a treliça. O efeito da força de flexão causada pelo vento nas torres provoca a tendência de transformação dos retângulos formados pelas vigas e pilares, em losango. E, como destacado anteriormente, uma maneira de impedir tal transformação é o enrijecimento dos nós entre as barras, o que configura os pórticos. Outra maneira é a colocação de uma barra na direção diagonal, formando, assim, dois triângulos<sup>17</sup>. Esse conjunto de barras formando triângulos se constitui numa pseudoparede treliçada, uma forma mais econômica de contraventamento do que os pórticos. (BÓGEA; LOPES; REBELLO, 2006)

Para tanto, a Figura 28 ilustra o edifício Bank of China, em Hong Kong, China, de I. M. Pei and Partners, de 1989.



Figura 28– Bank of China, de 1989. Hong Kong, China.

Fonte: <http://www.actualidadcad.com/wp-content/uploads/2009/10/Bank-of-China-Tower.jpg>

Já as torres em cabos, são mais esbeltas e raras e correspondem a uma tipologia muito específica, inclusive na limitação de seu uso. (BÓGEA; LOPES; REBELLO, 2006)

---

<sup>17</sup> O triângulo é a figura mais estável.

Como exemplo, tem-se a Torre de Colserolla, em Barcelona, Espanha, com 288 metros de altura, projetada por Norman Foster (concurso 1988/1992). (Figura 29) (BÓGEA; LOPES; REBELLO, 2006)

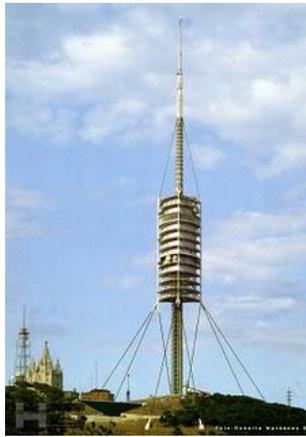


Figura 29 – Torre de Colserolla. Barcelona, Espanha.

Fonte: [http://2.bp.blogspot.com/\\_oGF0XpJSfS8/R79fPgC2b0I/AAAAAAAABQQ/jPczxSXdwVM/s320/Torre+de+Colserolla\\_Sello.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_oGF0XpJSfS8/R79fPgC2b0I/AAAAAAAABQQ/jPczxSXdwVM/s320/Torre+de+Colserolla_Sello.jpg)

Diversos edifícios podem possuir vários desses sistemas em uma única construção. Tal fato ocorre no edifício Torre Sem Fim, em Paris, França, projetada para um concurso por Jean Nouvel e que não está construída: o tubo, desde sua versão contínua à versão discretizada em barras treliçadas. (Figura 30) (BÓGEA; LOPES; REBELLO, 2006)



Figura 30 – Torre sem fim, La Défense. Paris, França.

Fonte: BÓGEA, M., LOPES, J. & REBELLO, Y. Arquiteturas da Engenharia ou Engenharias da Arquitetura. Editora Mandarim. São Paulo, 2006.

Junto ao projeto estrutural, a torre de escada muitas vezes ajuda também no contraventamento do edifício. Normalmente, desde as primeiras idéias de Mies Van der Rohe, as escadas, juntamente com os elevadores e *shafts* de serviços e instalações, aparecem em um único núcleo, que independente da forma externa do edifício, em sua maioria, se mantém até o ponto mais alto. Em edifícios muito altos, as caixas de escadas podem se alternarem, isto é, tomarem rumos alternativos dentro do arranha-céu.

É possível afirmar que a escada faz parte das inovações relacionadas às técnicas construtivas. Devido ao perigo de ocorrência de incêndios ou de qualquer emergência dentro do edifício em altura, as escadas estão sendo estudadas e projetadas a fim de que seu material – seus componentes construtivos – resista ao fogo e à fumaça, e que suas tipologias influenciem positivamente na evacuação segura dos ocupantes da edificação<sup>18</sup>.

Outra inovação tecnológica que surgiu com a evolução dos edifícios altos é o aparelho de ar-condicionado. Em 1902, Willis Carrier inventou um processo mecânico capaz de condicionar ar, na cidade Syracuse, estado de Nova York, EUA. Ele acreditava que o controle do clima finalmente se tornaria uma realidade. (<http://www.ejr.com.br/paginas/inven.htm>)

Devido à recente discussão sobre eficiência energética, o ar condicionado pode estar com os dias contatos, isto é, pode deixar de ser a principal solução para climatizar salas ou residências em edifícios em altura, sendo pelo menos usado em sistemas híbridos (ar condicionado e ventilação natural).

A preocupação com o meio ambiente e com a sustentabilidade obriga a aplicação de estratégias bioclimáticas (conforto ambiental), tais como o controle climático, que gera economia de energia.

Projetos de edifícios verdes e sustentáveis são, hoje, os maiores desafios dos arquitetos, engenheiros, técnicos e empresários.

---

<sup>18</sup> Vide Capítulo 2 – Segurança contra incêndio.

## 1.3 EDIFÍCIOS VERDES E SUSTENTÁVEIS

### 1.3.1. Definições

Termos como “sustentável”, “verde” ou “ecológico” remetem a uma mesma questão: responsabilidade ambiental. Mas tais termos possuem a mesma definição?

No cenário de política ambiental<sup>19</sup>, o termo “ecológico” aparece inicialmente em 1960, com ênfase no desenvolvimento, nas preocupações relacionadas ao crescimento populacional, à poluição e aos resíduos. Em 1970, começa a ganhar força o termo “verde”, principalmente após a crise do petróleo, com enfoque nos recursos naturais e fontes energéticas. Mas foi em 1980 que o termo “sustentabilidade” aparece com toda sua força temática. (SOBREIRA, 2009)

Para Steele (2005): “[...] cada termo tem suas implicações sociais e políticas”, e o termo “sustentabilidade” parece ser o mais difundido, devido a uma longa série de iniciativas institucionais e governamentais, lideradas inicialmente pelas Nações Unidas<sup>20</sup> (1987), que definiram o desenvolvimento sustentável como aquele “[...] que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”.

Em relação às construções sustentáveis, em contato com o professor de Ciência da Arquitetura e Engenharia do Fogo, Chow Wan-Ki<sup>21</sup>, da Universidade Politécnica de Hong Kong, China, quando perguntado o que para ele seria a diferença entre edifício verde e edifício sustentável, obteve-se a seguinte resposta: “Construção verde é mais técnica, considerado em um caminho relativo Construção

---

<sup>19</sup> No contexto internacional podemos destacar, nos últimos decênios, alguns eventos relacionados ao tema ambiental que influenciaram (e ainda influenciam) a Política Pública em diversos países e, conseqüentemente, o discurso relacionado à promoção e à produção da arquitetura pública: 1987 – The Brundtland Report – World Commission on Environment and Development; 1992 – Earth Summit, United Nations Conference – Rio de Janeiro; 1997 – Kyoto Protocol, United Nations – Convention on Climate Change; 2001 – US Green Building Council (USGBC) and Leadership in Energy and Environmental Design (LEED); 2002 – World Summit on Sustainable Development. (SOBREIRA, 2009)

<sup>20</sup> As causas do desequilíbrio do meio ambiente passaram a ser coordenadas pelas Nações Unidas, com encontros intergovernamentais que resultaram em compromissos de metas para a redução das emissões de gases.

<sup>21</sup> Vide Capítulo 3.

sustentável inclui outros fatores como os sociais, econômicos e políticos, tal como se são eles são viáveis, e usualmente medidos por escalas absolutas". (e-mail enviado em maio de 2010)

Como complemento às suas explicações, o professor Chow Wan-Ki também considera o que define a American Society for Testing and Materials (ASTM)<sup>22</sup>:

Sustentabilidade é tudo sobre uma holística proteção ao meio ambiente. [...] freqüentemente usado como sinônimo de construção 'sustentável', um edifício verde é definido pela norma E2114 (ASTM) como 'uma construção que fornece exigências de desempenho enquanto minimiza distúrbios e aprimora a funcionalidade do ecossistema local, regional e global ambos durante e depois da sua construção e especificamente o tempo de uso'.

Neste início de século, o conceito de sustentabilidade ou *green building* aparece como uma resposta do setor da construção à preocupação crescente com a emissão de poluentes na atmosfera, que resultam no aquecimento global e nas conseqüentes mudanças climáticas; para Poshen (2009), é a maior ameaça para o alcance dos objetivos do milênio. O conceito, que é abrangente, se refere a qualquer tipo de edificação, desde o pequeno abrigo para moradia temporária até os modernos arranha-céus das grandes metrópoles.

Paulo Lisboa, vice-presidente da Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (Asbea) e coordenador do Grupo de Estudos de Sustentabilidade da entidade, refere-se à sustentabilidade como um processo, um caminho progressivo e que não deve ser encarada como um objetivo. Ainda acrescenta: "[...] essa rota deve levar a projetos ambientalmente corretos, economicamente viáveis, e socialmente justos."

De fato, percebe-se que todas as definições aqui expressam levam a uma conclusão: todas se assemelham quanto à preocupação com o equilíbrio do meio ambiente, incluindo os aspectos sociais e econômicos, o que deve ser uma visão do futuro do planeta e do ser humano.

---

<sup>22</sup> ASTM é uma das maiores organizações voluntárias de desenvolvimento de normas no mundo; normas técnicas sobre materiais, produtos, sistemas e serviços. Criada por engenheiros e cientistas e possui atualmente mais de 30.000 membros que têm como objetivo criar um consenso de normas para fazer produtos e serviços seguros, melhores e mais economicamente eficientes. ([www.astm.org](http://www.astm.org))

### 1.3.2. Arquitetura sustentável

O arquiteto é o criador da modificação do espaço onde o homem vai ocupar, morar, trabalhar ou se divertir, e o faz pensando na satisfação dos desejos do usuário, baseado nos conhecimentos oferecidos pela tecnologia da construção e na sua cultura sobre a estética, a ética e a história.

Após a II Guerra Mundial (1939-1945) e com abundância de combustível barato, a tecnologia dos engenheiros – como, por exemplo, o uso de iluminação artificial (de responsabilidade do engenheiro eletricitista), o uso de equipamentos de ar-condicionado e aquecedores, especificados e dimensionados por engenheiros mecânicos (ou térmicos), a despreocupação com a interação do edifício e seu entorno – foi suplantando uma série de atribuições dos arquitetos. (CORBELLA; YANNAS, 2003)

Houve uma primeira crise de energia, produzida pelo grande aumento do preço do petróleo em 1973. Com a crise do petróleo, o mundo industrializado tomou consciência de que os recursos naturais do planeta não eram inesgotáveis e que seu uso precisava ser urgentemente racionalizado. Isso impulsionou a chamada Arquitetura Solar.

A partir daí, novas alternativas energéticas foram pesquisadas e desenvolvidas, enquanto os setores industriais mais modernos e ágeis responderam com produtos que consomem cada vez menos energia.

É importante citar que o setor da construção civil, apontado por pesquisas da ONU como responsável por quase 30% da produção mundial de CO<sub>2</sub> - ou cerca de um terço do efeito estufa do planeta - é considerado um dos maiores vilões do meio ambiente. Extremamente diversificado e dependente de uma imensa cadeia produtiva, o setor é responsável por uma infinidade de casas, edifícios, ruas, estradas, pontes e viadutos por todo o planeta - uma produção gigantesca, maior do que a de qualquer outra indústria -, possuindo peso decisivo na economia mundial. Sua atividade, naturalmente poluidora e produtora de resíduos, é ainda a maior consumidora de matérias-primas e de energia do planeta. A redução do impacto ambiental causado pelas edificações – uma meta a ser alcançada gradativamente

pelo setor – vem sendo acompanhada pela ONU e por entidades públicas e privadas, que prestam consultoria sobre sustentabilidade e, inclusive, concedem selos<sup>23</sup> de qualidade ambiental para incentivar a adoção de medidas ecologicamente corretas.

Nas décadas seguintes, a onda de preocupação ecológica aumentou, com as mudanças climáticas causadas pelo crescente aquecimento global, resultante da emissão de gases que destroem a camada de ozônio.

Pouco a pouco foi renascendo uma arquitetura preocupada na sua integração com o clima local, visando a habilitação centrada sobre o conforto ambiental do ser humano e sua repercussão no planeta: a Arquitetura Bioclimática.

A Arquitetura Sustentável é a continuidade mais natural da Arquitetura Bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior. É a arquitetura que deseja criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrado com as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, de forma a legar um mundo menos poluído para as futuras gerações. (CORBELLA; YANNAS, 2003)

O desenvolvimento de uma arquitetura voltada para o meio ambiente que possa liberar-se da dependência dos sistemas convencionais de energia é um dos desafios da atual geração de arquitetos.

No Brasil, poucos edifícios contemporâneos na cidade do Rio de Janeiro são capazes de prover conforto térmico e visual para seus usuários sem utilizar esses sistemas convencionais de energia.

---

<sup>23</sup> Vide item 1.3.3 - Certificados e selos verdes e sustentáveis no Brasil.

Em linhas gerais, são considerados "verdes" ou "sustentáveis" os edifícios implantados corretamente (orientados de acordo com os pontos cardeais), de maneira a evitar grandes movimentos de terra, a impermeabilização do solo e os danos à flora e à fauna. O projeto deve priorizar a redução do consumo de energia elétrica (substituída, sempre que possível, por fontes renováveis e não fósseis, como a energia solar e a eólica, por exemplo); e também do consumo de água, pela gestão ecológica do seu ciclo no edifício (sendo recuperada e tratada para uso em locais que não necessitem de água tratada). Outro fator que contradiz os edifícios em altura, quando possível, é o fato da edificação ter poucos pavimentos (o que reduz o consumo de energia), planta livre para permitir espaços flexíveis (visando mudanças de *layout* e reciclagens futuras), e ainda propiciar o conforto ambiental pela iluminação e ventilação naturais. Com relação à execução, a opção de materiais deve priorizar os certificados que apresentam bom desempenho ecológico e que sejam recicláveis na medida do possível, e ainda duráveis. A formação de entulhos, um problema que causa grave impacto no meio ambiente, pode ser reduzida com a reciclagem e a introdução de sistemas construtivos racionalizados.

O arquiteto francês Jacques Ferrier, especialista em arquitetura sustentável e com vários edifícios premiados na França, defende o uso de estruturas executadas com concretos de alta resistência, porque podem ser usados em menor quantidade, sendo mais econômicos e sustentáveis. Defende ainda o uso das estruturas de aço que, por se tratar de um material reciclável, são importantes para o desenvolvimento sustentável.

Todos esses fatores estão relacionados através da aplicação das estratégias bioclimáticas. São estratégias que garantem o conforto ambiental. As estratégias bioclimáticas de projeto que devem ser aplicadas são: controlar os ganhos de calor; dissipar a energia térmica do interior dos edifícios; remover a umidade em excesso e promover o movimento de ar; promover o uso da iluminação natural e controlar o ruído.

Para edificações sustentáveis, citam-se alguns sistemas, tais como:

- Cobertura verde.
- Vidros de alta eficiência e brises na fachada norte para reduzir a entrada de calor sem comprometer a incidência de luz.
- Pintura especial com controle de refletividade.
- Ar-condicionado descentralizado e com reaproveitamento de água condensada para outros usos, como irrigação de jardins ou espelhos d'água.
- Canteiro de obras de baixo impacto com reciclagem de embalagens e controle de resíduos.
- Uso de tintas à base de água.
- Elevadores inteligentes com regenerador de energia e antecipação de chamada.
- Vasos sanitários com válvulas de duplo fluxo.
- Lâmpadas de alta eficiência e baixo consumo, como *leds*, por exemplo.
- Coleta seletiva de lixo.
- Materiais de acabamento com baixo uso de componentes voláteis orgânicos.
- Uso de madeira certificada.
- Acessibilidade.
- Reservatório de água para Reuso com sistema de tratamento e manutenção periódica.
- Pavimentos drenantes. (REVISTA Técnica, ed. 155, fev. 2010).

Deve-se buscar sempre a utilização de ventilação natural<sup>24</sup> na edificação, visto que em pelo menos muitos edifícios, utiliza-se um sistema híbrido (ventilação natural + ar-condicionado) integrado conforme as necessidades de conforto do edifício.

Em se tratando de edifícios, o melhor posicionamento com relação aos ventos deve ser compatibilizado com a melhor localização recomendada pelas trajetórias solares.

---

<sup>24</sup> Vide Capítulo 3.

Conforme Corbella e Yannas (2003), as estratégias para se constituir um edifício com boa ventilação e um controle eficiente são:

- Posicionar o prédio convenientemente para poder conseguir uma corrente de ar no seu interior, no período do dia em que isso seja desejado;
- Se o melhor posicionamento teórico do edifício no terreno não pode ser realizado por razões práticas, estudar a disposição de elementos no envelope, de maneira a desviar o vento, para que possa ser produzida uma corrente cruzada no seu interior.
- No caso de ambientes com ar condicionado, deve-se pesquisar, ou projetar, e colocar fechamentos de boa qualidade nas aberturas, de maneira que se produzam renovações de ar controladas;
- Estudar as divisões internas de maneira que apresentem o menor obstáculo possível ao deslocamento de ar;
- Se necessário, projetar e colocar exaustores e/ou ventiladores de teto para obter uma ventilação eficiente;
- Verificar se são necessários, e possíveis, o controle automático das entradas e saídas de ar e/ou instalação de artefatos de ventilação mecânica;
- Em regiões com muitos períodos de calma, ou em partes do edifício protegidas do vento externo, pode-se utilizar a ventilação produzida por termossifão (o ar com uma temperatura maior sobe, produzindo uma corrente, se tiver por onde sair e por onde entrar o ar de renovação).

O arquiteto Ken Yeang é um dos profissionais que utilizam em seus projetos as estratégias sustentáveis. Yeang define o projeto ecológico, ou simplesmente *ecodesign*, como sendo um desenho da integração dos sistemas artificiais com os sistemas naturais (integrando os impactos do ambiente construído com o ambiente natural). Tal integração se dá com o ambiente natural que inclui a biosfera, a qual contém todas as formas de vida que existem na Terra. (YEANG, 2008)

Em outras palavras, Yeang considera o termo “integrar” a palavra chave do *ecodesign*. Em seus projetos, faz bastante uso da vegetação, como também das estratégias bioclimáticas e sustentáveis, tais como: protetores solares, ventilação natural, sistemas de eficiência energética, entre outros. (Figura 31)



Figura 31 – Edifício Menara Mesiniaga. Malásia.

Fonte: [http://images.businessweek.com/ss/06/07/wow\\_green/image/2menara-mesiniaga.jpg](http://images.businessweek.com/ss/06/07/wow_green/image/2menara-mesiniaga.jpg)

Para Jacques Ferrier: “[...] é preciso tornar o desenvolvimento sustentável algo desejável”. Com esse intuito, Ferrier concebeu uma torre “ecológica” chamada Hypergreen, para Shanghai, China, cidade que mais consome energia do país e apresenta graves problemas para o futuro do planeta. Aliás, Shanghai está em crescimento exponencial. A cada mês, dezenas de edifícios muito altos são construídos. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008) (Figura 32)



Figura 32 – Vista de Xangai, China, com o arranha-céu Hypergreen inserido por imagem computacional.

Fonte: <http://www.facebook.com/album.php?aid=85021&id=73570194656>

Na concepção desta torre “ecológica”, Ferrier destaca que era preciso produzir a Hypergreen a nível arquitetônico e de construção, em termos de energia. Além de ser muito econômica, em matéria de consumo de energia, a intenção era de se fazer um edifício capaz de produzir parte de sua própria energia. Aproveitando o fato de ser uma torre bem alta, resolveu-se inserir ao edifício motores eólicos e painéis fotovoltaicos. Tudo isso permite de 30 a 50% de redução no consumo de energia. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008) (Figura 33)

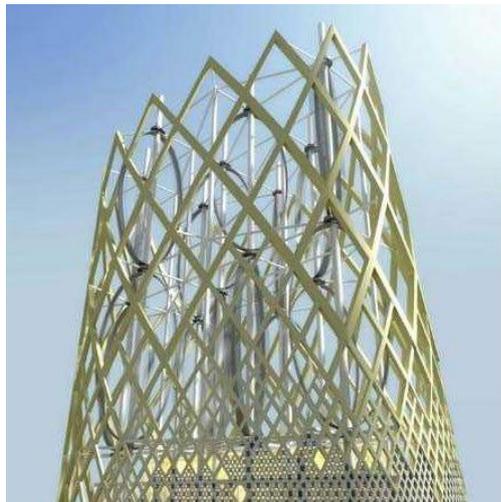


Figura 33 – Vista do topo da torre do Hypergreen. No detalhe, o destaque às turbinas eólicas.

Fonte: <http://www.facebook.com/album.php?aid=85021&id=73570194656>

A idéia de Ferrier era se afastar das torres brilhantes, dos prismas de vidro que vêm em toda parte e fazer uma torre que fosse mais rugosa, que tivesse materialidade. Isso porque ele desejava que a fachada sul se protegesse do sol e a fachada norte se abrisse amplamente à luz.

A partir desse ponto de vista muito simples, que acompanha dia-a-dia a continuidade da arquitetura, tem-se uma imagem totalmente nova da torre, porque há uma espécie de rede em torno da fachada, uma rede que vai se densificar, se estreitar ao sul e se abrir ao norte, tudo isso com infinitas variações, de acordo com o lugar na torre, com o tipo de uso, com o programa de necessidades. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008) (Figura 34)



Figura 34 – A rede que envolve a fachada do Hypergreen, como um véu inovador.

Fonte: <http://www.facebook.com/album.php?aid=85021&id=73570194656>

A Figura 35 destaca a vista entre a rede como proteção solar e a área útil do edifício.



Figura 35 - Imagem produzida por maquete eletrônica da área entre a rede de proteção solar e o local de trabalho no Hypergreen.

Fonte: <http://www.facebook.com/album.php?aid=85021&id=73570194656>

O projeto da Hypergreen inclui, além de painéis solares integrados e turbinas de vento, sistema de captação de água da chuva e um sistema de aquecimento de água geotermal. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008)

Tem-se ainda como outro exemplo o projeto de Daniel Libeskind, arquiteto polonês naturalizado norte-americano: um complexo de edifícios residenciais sustentáveis com 193 mil metros quadrados na pequena ilha de Keppel, em Cingapura, na Ásia, chamado Reflexões. (Figura 36).



Figura 36– Complexo residencial Reflexões, por Daniel Libeskind. Keppel, Cingapura.

Fonte: <http://www.piniweb.com.br/construcao/arquitetura/daniel-libeskind-assina-projeto-residencial-sustentavel-de-193-mil-m-168634-1.asp>

A primeira torre foi concluída no final de março de 2010. São seis arranha-céus (três com quarenta e um andares e três com vinte e um andares), onze blocos de apartamentos de seis a oito pavimentos, de um total de um mil e cento e vinte e nove unidades residenciais.

Mas o destaque do projeto é o desenho ondulado dos arranha-céus. Com alturas e encurvamentos diferentes, os prédios criam aberturas entre si que permitem a circulação do ar e a entrada de luz natural nos apartamentos, além dos jardins criados nas coberturas inclinadas das torres e também presentes nas passarelas que ligam as edificações. Segundo Libeskind, os jardins, além de diminuir a emissão de gás carbônico, também se tornaram locais de lazer para os

moradores. O empreendimento ganhou em 2008 o Green Mark Gold, selo ecológico<sup>25</sup> criado pelo governo de Cingapura. (ARQUITETURAS do Mundo, vol. 2, 2008) (Figura 40)



Figura 37 – Jardins na cobertura inclinada e passarelas de ligação no conjunto Reflexões. Keppel, Cingapura.

Fonte: <http://www.piniweb.com.br/construcao/arquitetura/daniel-libeskind-assina-projeto-residencial-sustentavel-de-193-mil-m-168634-1.asp>

Como no projeto anterior, aplicando-se estratégias verdes e sustentáveis aos edifícios, estes podem conseguir certificados ou selos ambientais, fazendo com que cada vez mais os projetistas dediquem esforços para melhorar o desempenho sustentável das edificações.

---

<sup>25</sup> Vide item 1.3.3 - Certificações e selos verdes e ecológicos no Brasil.

### 1.3.3 Certificados e selos verdes e sustentáveis no Brasil

Uma espécie de prêmio, isto é, de reconhecimento dos esforços dispensados, vem sendo aplicado aos projetos sustentáveis. São os certificados e os selos verdes e sustentáveis. É uma forma de incentivo aos projetistas na constante inclusão de critérios ambientais em seus projetos.

Segundo Vanessa Gomes, líder da equipe brasileira do Green Building Council (GBC) e conselheira do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), o Brasil ainda está muito atrás, por exemplo, dos EUA, em relação a aplicação de técnicas ambientais em projeto. Vale destacar que na Alemanha e na Holanda, tal cultura ambiental está tão arraigada que, projetar de acordo com critérios de sustentabilidade não é mais um diferencial, mas sim uma obrigação,

O GBC tem como objetivo disseminar no mercado o sistema americano de certificação (LEED) adaptado à realidade brasileira, cujo trabalho iniciou-se em 28 de janeiro de 2008, com um grupo heterogêneo (diversos profissionais) de abrangência nacional<sup>26</sup>. A previsão é de que até o final de 2010 sejam definidos itens regionalizados para aplicação no Brasil.

O quadro a seguir representa duas certificações – LEED e AQUA (certificação brasileira baseada em certificação francesa) – e um selo – SUSTENTAX, todos relacionados às construções sustentáveis.

---

<sup>26</sup> O comitê LEED está dividido em cinco subcomitês temáticos, que abordam os cinco critérios de avaliação da ferramenta LEED: Materiais e Recursos (MR), Energia e Atmosfera (EA), Espaço Sustentável - Site (SS), Qualidade Ambiental Interna (EQ) e o Uso Racional da Água (WE). (<http://www.gbcbrazil.org.br/pt/>)

Quadro 1 – Critérios de certificadoras no Brasil. (Continua)

O que é	Como funciona	Categorias de análise	Como participar e quanto custa
<p><b>LEED</b></p> <p>Leadership in Energy and Environmental Design é um sistema americano de certificação aplicado pelo USGBC (United States Green Building Council) que leva em conta o impacto gerado ao meio ambiente em consequência dos processos relacionados ao edifício (projeto, construção e operação).</p>	<p>Pontua soluções nos quesitos: espaço sustentável, localização, entorno, eficiência no uso de água e de energia, qualidade do ar, uso de materiais, qualidade ambiental interna, inovação e processos. Usa um check list com as principais exigências das sete categorias. A pontuação tem classificação em Platinum (platina), Gold (ouro) ou Silver (prata).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LEED NC (New Construction) – novas construções ou grandes reformas</li> <li>• LEED CS (Core &amp; Shell) – envoltória do empreendimento, suas áreas comuns e internamente com o sistema de ar-condicionado e elevadores. É complementado pelo LEED CI (Commercial Interior)</li> <li>• Pré-certificação – para os projetos registrados na modalidade LEED CS. Permite a divulgação visando a pré-venda do empreendimento.</li> <li>• LEED CI (Commercial Interior) – interiors comerciais.</li> <li>• LEED ND (Neighbourhood) – avalia bairros e o desenvolvimento de comunidades.</li> <li>• LEED School – baseado no sistema de certificação LEED NC específico para escolas</li> <li>• LEED EB (Existing Building) – para edifícios existentes e ajuda o proprietário a medir suas operações e fazer melhorias na manutenção.</li> </ul>	<p>Pelo site <a href="http://www.gbci.org">www.gbci.org</a> e paga a taxa de cadastro de US\$ 600.</p> <p>Projetos com até 5 mil m<sup>2</sup> pagam mais US\$ 2.250.</p> <p>De 5 mil m<sup>2</sup> até 50 mil m<sup>2</sup>, pagam mais US\$ 0,45 m<sup>2</sup>.</p> <p>Acima de 50 mil m<sup>2</sup>, mais US\$ 22.500.</p> <p>Consultoria (não obrigatória): aproximadamente 1% do custo da obra.</p>

Fonte: CARIMBO Verde. **Revista Técnica**, ed. 155, fev. 2010. São Paulo: Editora Pini.

Quadro 1 – Critérios de certificadoras no Brasil. (Continuação)

O que é	Como funciona	Categorias de análise	Como participar e quanto custa
<p><b>AQUA</b></p> <p>A certificação Aqua (Alta Qualidade Ambiental) é um processo de gestão de projeto implantado pela Fundação Vanzolini com o objetivo de obter a qualidade ambiental de um empreendimento de construção ou de reabilitação. É baseada na certificação francesa Démarche HQE.</p>	<p>Avalia: Programa (definição das necessidades e o desempenho do projeto); Concepção (o sistema de gestão proposto é mantido e há correção de eventuais desvios); Realização (a meta é alcançar o máximo de eficiência com a menor presença de desvios) e Operação (obra até sua conclusão). Em cada uma das etapas, o empreendimento passa por auditorias e recebe uma certificação daquela fase.</p>	<p>Todo processo conta com 14 categorias ou objetivos distribuídos em quatro bases de ação: ecoconstrução, ecogestão, conforto e saúde. O empreendedor é pontuado por três níveis de desempenho: excelente, superior e bom. Para obter a certificação deve alcançar pelo menos três níveis “excelente” e quatro “superior”.</p>	<p>Pelo site <a href="http://www.vanzolini.org.br">www.vanzolini.org.br</a></p> <p>Empreendimentos até 1.500m<sup>2</sup> pagam R\$ 17.500</p> <p>Acima de 1.500m<sup>2</sup>, R\$ 1.609 por m<sup>2</sup></p> <p>Uma edificação com 10 mil m<sup>2</sup>, por exemplo, paga R\$ 31.178,00 (R\$ 17.500 dos 1.500 m<sup>2</sup> e R\$ 13.678,00 dos 8.500 m<sup>2</sup> restantes)</p>
<p><b>SUSTENTAX</b></p> <p>É um selo desenvolvido pelo Grupo Sustentax para identificar e atestar a qualidade ambiental de produtos e serviços prestados por construtoras e incorporadoras.</p>	<p>Atesta a conformidade dos procedimentos de desenvolvimento de projeto, seleção de materiais; o comprometimento com práticas socioambientalmente corretas; com a responsabilidade social e a disseminação de práticas que geram economia, evitam desperdícios e aumentam a produtividade.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diagnóstico do local de implantação do projeto</li> <li>▪ Sistemas e componentes hidráulicos</li> <li>▪ Armazenamento e coleta seletiva de resíduos</li> <li>▪ Interferência na construção existente</li> <li>▪ Reutilização de móveis e outros componentes</li> <li>▪ Uso de materiais reciclados, regionais e renováveis</li> <li>▪ Uso de madeira certificada</li> <li>▪</li> </ul>	<p>Pelo site <a href="http://www.selosustentax.com.br">www.selosustentax.com.br</a>.</p> <p>Uma análise de produto pode levar até um ano e o custo médio para obtenção do selo é de R\$ 600,00 por mês. A cada dois anos o selo é revisto e, se a empresa deixa de cumprir as exigências, perde o selo.</p>

Fonte: CARIMBO Verde. **Revista Técnica**, ed. 155, fev. 2010. São Paulo: Editora Pini.

Quadro 1 – Critérios de certificadoras no Brasil. (Continuação)

O que é	Como funciona	Categorias de análise	Como participar e quanto custa
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Seleção de tintas, colas, carpetes, laminados, etc.</li> <li>▪ Armazenamento de materiais poluentes</li> <li>▪ Uso de iluminação natural</li> <li>▪ Acessibilidade e ergonomia</li> <li>▪ Atendimento de questões de acústica</li> <li>▪ Compromisso com questões socioambientais</li> <li>▪ Controle de erosão e sedimentação</li> <li>▪ Racionalização do uso da água</li> <li>▪ Qualidade ambiental interna</li> </ul> <p>Gerenciamento dos resíduos da construção civil.</p>	

Fonte: CARIMBO Verde. **Revista Técnica**, ed. 155, fev. 2010. São Paulo: Editora Pini.

Atualmente, o LEED possui sessenta e nove critérios, no qual cada critério vale um ponto. Com vinte e seis pontos, o prédio está de acordo com as preocupações de sustentabilidade, e recebe a certificação LEED básica. De trinta e três a trinta e oito pontos, recebe o certificado Prata. Com trinta e nove pontos, recebe o certificado Ouro. A partir de cinquenta e dois pontos, atinge-se a classificação máxima, a Platina. (Revista AU, jul. 2010)

Fabiano Sobreira avaliando a pontuação em palestra realizada no Seminário Construções Sustentáveis (em junho de 2010), explica:

Uma edificação com classificação Platina pode receber a mesma classificação se construída em outro lugar independente de sua posição no terreno, o que corre o risco de ser posicionada diferentemente da orientação solar anterior.

E complementa:

O item 'implantação' é mínimo para o certificado. São 4 pontos do total de 69 referente a inovações em projeto.

O arquiteto também alerta quanto ao uso dos “selos ecológicos”: “[...] seriam os “selos ecológicos” mais uma forma de *greenwash* na arquitetura?”. Além disso acredita que a certificação LEED ainda é pouco contextualizada na cultura local.

Conforme o GBC Brasil, alguns edifícios no Brasil já possuem certificados LEED. Os edifícios Eldorado Business Center (Figura 38) e o Rochavera Corporate Tower (Figura 39), ambos na cidade de São Paulo, e o edifício Ventura Corporate Tower<sup>27</sup> (Figura 40), na cidade do Rio de Janeiro, são alguns dos edifícios com certificação.

---

<sup>27</sup> Somente o Edifício Ventura Corporate Towers – Torre Leste possui certificado LEED. A Torre Oeste está em fase de certificação (pré-certificação). ([http://www.gbcbrasil.org.br/pt/index.php?pag=certificacao.php&certificado=cert\\_LEEDRegistados.php](http://www.gbcbrasil.org.br/pt/index.php?pag=certificacao.php&certificado=cert_LEEDRegistados.php))



Figura 38 – Eldorado Business Center – Certificação LEED CS – Platinum. São Paulo, Brasil.

Fonte: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=636313>



Figura 39 – Edifício Rochavera Corporate Tower – Torre B – Certificação LEED CS – Gold. São Paulo, Brasil.

Fonte: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=733472>



Figura 40 – Ventura Corporate Towers – Certificação LEED CS – Gold. Rio de Janeiro, Brasil.

Fonte: <http://www.tishmanspeyer.com.br/comercial-ventura-conceito.php&usg>

O GBC Brasil promove, por exemplo, cursos de aplicação das ferramentas de certificação LEED, sobre as metodologias, conceitos e critérios exigidos. Após um exame que avalia profissionais, pode ser emitido o *LEED Accredited Professional* (LEED AP). (Revista AU, julho 2010)

Outra forma de promover a sustentabilidade, em relação ao uso racionalizado de energia é o programa Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), com Secretaria-Executiva mantida pelas Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRÁS).

O PROCEL possui um subprograma relacionado a edificações chamado PROCEL EDIFICA, que foi instituído em 2003 pela ELETROBRAS/PROCEL, e atua de forma conjunta com o MME, com o Ministério das Cidades (MC), com as universidades, com os centros de pesquisa e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil. O PROCEL promove o uso racional da energia elétrica em edificações desde sua fundação, sendo que, com a criação do PROCEL EDIFICA, as ações foram ampliadas e organizadas com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação etc.) nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente.

O programa não indica se o edifício é verde ou sustentável, mas se possui eficiência energética, conforme demonstra o quadro a seguir, sobre o PROCEL EDIFICA.

Quadro 2 – PROCEL EDIFICA.

O que é	Como funciona	Categorias de análise	Como participar e quanto custa
<p>É um subprograma do Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) do Governo Federal que tem como missão promover a eficiência energética nas edificações brasileiras, contribuindo para a conservação de energia elétrica.</p> <p>Não é uma certificação e, sim, uma etiquetagem<sup>28</sup>.</p>	<p>Aplica-se somente aos edifícios comerciais, de serviços e públicos. São avaliados três sistemas individuais – envoltória, iluminação e condicionamento de ar. É feita uma classificação geral, que pode ser acrescida de bonificações relacionadas ao uso eficiente da água, emprego de fontes alternativas de energia ou qualquer inovação tecnológica que promova a eficiência energética.</p>	<p>Os níveis de eficiência variam de A mais eficiente, até E, menos eficiente. A avaliação é feita em duas etapas: fase de projeto e edifício construído, após o alvará de conclusão da obra. O projeto do edifício pode ser avaliado segundo o método prescritivo ou pelo método de simulação termoenergética computacional.</p>	<p>Construtora ou proprietário de algum edifício novo comercial, de serviço e público ou que tenha passado por retrofit com no mínimo 500m<sup>2</sup> devem encaminhar o projeto a um laboratório de inspeção acreditado pelo Inmetro. No início do programa, os projetos devem ser encaminhados para o Labeee, laboratório designado pelo Inmetro para realização da etiquetagem. Estima-se que o valor global varie entre R\$ 15mil e R\$ 20mil.</p>

Fonte: CARIMBO Verde. **Revista Técnica**, ed. 155, fev. 2010. São Paulo: Editora Pini.

Os sistemas de certificação são muito parecidos e têm o mesmo objetivo: transformar o setor da construção sustentável em prol da redução de impactos ao meio ambiente.

<sup>28</sup> Em 8 de dezembro de 1993, foi instituído por Decreto Presidencial o SELO PROCEL que expõe os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. No processo de concessão do SELO PROCEL, em todos os setores, a ELETROBRÁS conta com a parceria do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), executor do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), cujo principal produto é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), sendo também a ELETROBRÁS parceira do Inmetro no desenvolvimento do PBE. Normalmente, os produtos contemplados com o SELO PROCEL são caracterizados pela faixa “A” da ENCE. Para ser contemplado com o SELO PROCEL, o produto deve ser submetido a ensaios específicos em laboratório idôneo, indicado pelo PROCEL. Os parâmetros a serem avaliados para cada equipamento constam nos Critérios Específicos para Concessão do SELO PROCEL, no Regulamento SELO PROCEL de Economia. A adesão das empresas ao SELO PROCEL é voluntária. ([www.eletronbras.com/elb/procel/main.asp](http://www.eletronbras.com/elb/procel/main.asp))

É desejo de que, futuramente, a busca por certificados e selos se torne obrigatória e, a aplicação de estratégias sustentáveis, parte da cultura brasileira.

## 2 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES

### 2.1 O INCÊNDIO

O incêndio é o fogo fora de controle. O fogo sempre se constituiu num elemento de grande significado para a criatura humana. (GOMES, 1998)

O homem, devido à sua necessidade e inteligência, encontrou no fogo certa utilidade que, a princípio, seria a percepção da luz que se fazia ao seu redor e do calor que transmitia ao seu corpo. Com o passar do tempo, descobriu sua utilização no preparo de alimentos (cozinhando ou assando) e até mesmo para afugentar animais bravos. Daí por diante, o fogo passou a receber cuidados especiais. O grupo de selvagens da época guardava nos crânios de animais fragmentos de brasas colhidos nas áreas atingidas pelos raios ou fruto da combustão espontânea na mata. Estes fragmentos eram vigiados, pois serviriam para acender fogueiras à noite, principalmente para se proteger dos animais ferozes e famintos. O guardião desses fragmentos era considerado o mais valente entre o grupo. (GOMES, 1998)

Quando o fogo se extinguia, o grupo vagava pelas matas procurando mais brasas ou até mesmo o guardião de outros grupos nômades era atacado. Nesta luta pela “busca do fogo”, o homem acabou aprendendo a produzi-lo. Não se sabe ao certo como isto aconteceu, mas a verdade é que chegaram ao mesmo fim por dois caminhos diferentes: um deles atribui ao centelhamento causado pelo choque, ou forte atrito, entre as pedras, e o outro, resultou do atrito de um pedaço de madeira, semelhante a um pequeno bastão cilíndrico, um pouco mais grosso que um lápis, introduzido num buraco de igual diâmetro, que mantendo esse bastão entre suas mãos, iam torcendo-o num sentido, ora noutro, aquecendo-o até atear fogo às folhas e gravetos secos colocados juntos e ao redor dele.(GOMES, 1998)

A partir daí, quando o homem descobriu como produzir e utilizar o fogo, este não era mais considerado como uma obra dos deuses; entenderam que não mais se tratava de um fenômeno sobrenatural.

E como os homens andavam em bandos ou grupos, o gosto pela vida comunitária foi despertado, surgindo assim, as primeiras moradias fora das cavernas, onde construíram cabanas rústicas, formadas de galhos, folhas e troncos de árvores secas. Nas cabanas, o fogo era localizado em suas proximidades ou em seus interiores. A falha no controle desse fogo fez surgir o **incêndio**. (GOMES, 1998, grifo nosso)

Assim, o homem descobriu que da mesma forma que o fogo trazia benefícios, o incêndio anulava-os; e, então, o homem procurava extingui-lo.

O fogo, quando fora de controle, põe em risco os bens materiais e principalmente a vida humana.

É preciso entender que, para que exista o fogo, são necessários quatro elementos fundamentais: o combustível (qualquer matéria capaz de queimar), o comburente (fator que alimenta a combustão), o calor ou agente ígneo (elemento que dá início à reação de combustão, fornecendo calor para a reação, por exemplo: chama, centelha, brasa) e, conseqüentemente, a reação em cadeia (o que garante a continuidade da combustão). A junção destes elementos é conhecida atualmente como Tetraedro do Fogo. (Figura 41)

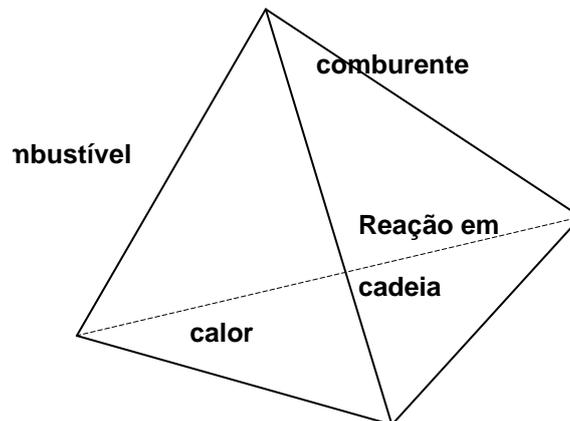


Figura 41 – Tetraedro do fogo.

Fonte: SEITO, 2008.

Vale lembrar que o oxigênio deverá estar presente no ambiente em porcentagens adequadas. Se ele estiver reduzido a porcentagens abaixo de 16%, diz-se que a mistura combustível-comburente encontra-se muito pobre, podendo não haver combustão<sup>29</sup>.

O incêndio produz três tipos de produtos: calor, fumaça e chama.

Segundo Kato e Seito (1998), verificando algumas estatísticas no mundo, a fumaça é a causadora de 80% ou mais de vítimas fatais em incêndios. A fumaça possui cinco características: é opaca (seus produtos, principalmente a fuligem, permanecem suspensos na massa gasosa diminuindo a visibilidade), é tóxica (seus produtos prejudicam a respiração), é móvel (porque é um fluido que está sofrendo empuxo constante, podendo atingir diferentes ambientes e propagar o incêndio), é quente (eleva a temperatura a ponto de gerar novos focos de incêndio) e inflamável (porque possui subprodutos da queima capazes de reagir com o oxigênio e queimar)<sup>30</sup>.

Conforme Seito (2008), não existem dois incêndios iguais, pois são vários os fatores que concorrem para seu início e desenvolvimento:

- a) forma geométrica e dimensões da sala ou local;
- b) superfície específica dos materiais combustíveis envolvidos;
- c) distribuição dos materiais combustíveis no local;
- d) quantidade de material combustível incorporado ou temporário;
- e) características de queima dos materiais envolvidos;
- f) local do início do incêndio no ambiente;
- g) condições climáticas (temperatura e umidade relativa);
- h) aberturas de ventilação do ambiente;
- i) aberturas entre ambientes para a propagação do incêndio;
- j) projeto arquitetônico do ambiente e ou edifício;
- k) medidas de prevenção de incêndio existentes; e
- l) medidas de proteção contra incêndio instaladas. (SEITO, 2008, p.43-44))

---

<sup>29</sup> Combustão é uma oxidação que se caracteriza pela emissão de luz (incandescência) e de calor (chama), simultaneamente ou não. O calor produzido pela exotermicidade é forte, resultante da elevada velocidade com que se processa a reação química. O incêndio é uma combustão viva, cuja chama é constituída pela mistura dos gases combustíveis com o Oxigênio (O<sub>2</sub>). O calor decorre da queima incompleta, uma vez que as partículas de Carbono não são inteiramente consumidas. Parcela apreciável da energia produzida é transformada em raios infravermelhos.

<sup>30</sup> Vide Capítulo 3.

O incêndio, segundo Berto (1998), é dividido em etapas: início ou princípio de incêndio; crescimento no ambiente de origem (combate do princípio de incêndio); propagação para outros ambientes (evacuação do edifício); propagação para outros edifícios; e ruína parcial ou total do edifício. O Gráfico 1 representa as fases de um incêndio associadas às características de reação ao fogo.

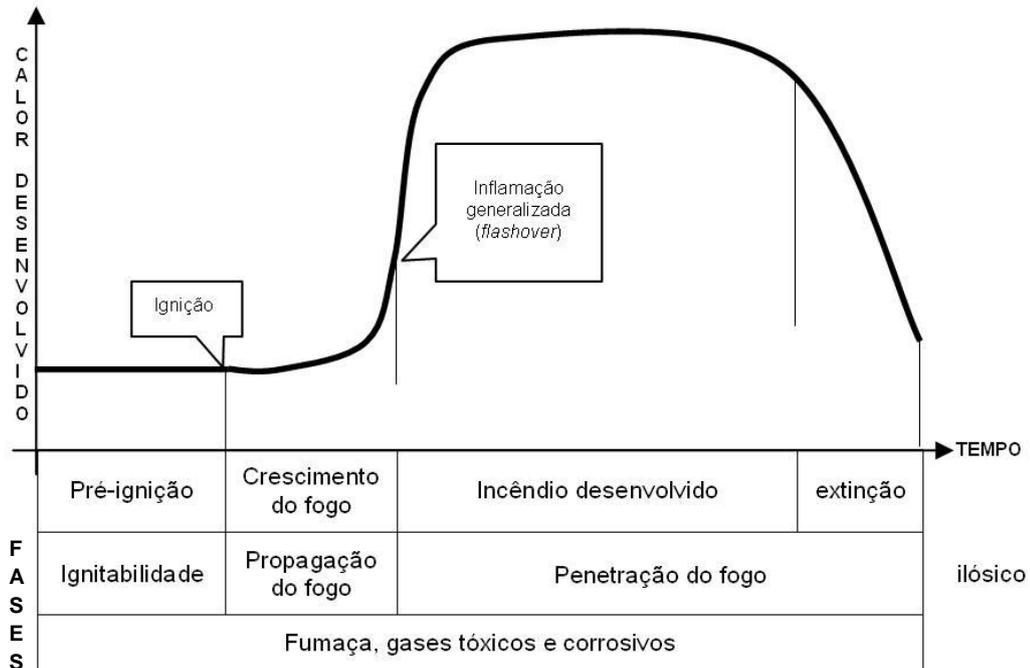


Gráfico 1 – Curva de evolução do incêndio (ISO/TR3814:1989 (E) Tests to measuring reaction to fire of buildings materials – Their development and application).

Fonte: SEITO, 2008.

Na maioria das ocasiões, o incêndio tem seu início de forma bem pequena. O crescimento dependerá do primeiro item ignizado<sup>31</sup>, das características do comportamento ao fogo dos materiais na proximidade do item ignizado e de sua distribuição no ambiente. (SEITO, 2008)

<sup>31</sup> Ignição é o estado de corpo em combustão. (Dicionário Aurélio, 2009)

O Gráfico 2 exprime as três fases características de um incêndio típico: a fase inicial, a fase de inflamação generalizada e a fase de extinção em um compartimento.

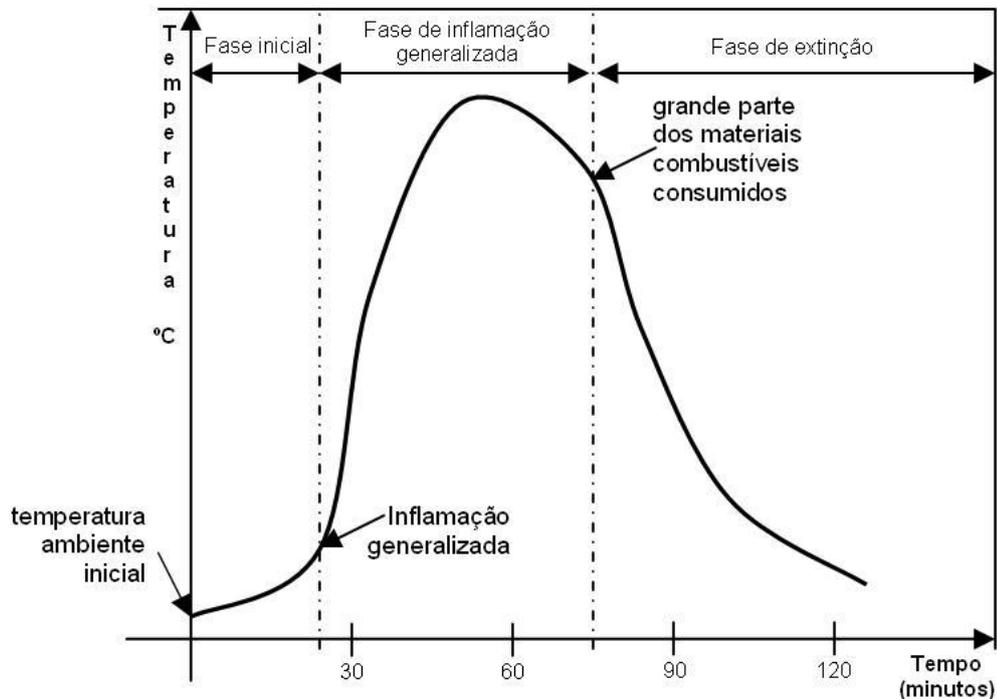


Gráfico 2 – Fases da evolução de um incêndio em um compartimento.

Fonte: MITIDIERI, 2008.

A fase inicial é o foco representado pela combustão do primeiro objeto ignizado e, também, alguns outros objetos em suas proximidades, sendo que a temperatura nesta fase se eleva gradualmente. A inflamação generalizada é consequência da combustão dos materiais combustíveis presentes no ambiente de origem e até em todo o edifício, havendo uma elevação acentuada da temperatura (a essas condições não é possível a sobrevivência humana). Quando 80% dos materiais combustíveis existentes no recinto já foram consumidos, o incêndio entra em fase de extinção, acontecendo então o decréscimo da temperatura. (BERTO, 1998).

Os incêndios, em sua maior parte, são causados pelo que se chama de comportamento de risco, isto é, um conjunto de atos cometidos pelo ser humano, por imprudência, imperícia ou negligência. O desconhecimento dos reais riscos de incêndio<sup>32</sup> e o descaso na previsão de medidas de segurança são as duas principais causas da ocorrência de incêndio. (MELO, 1999)

Pode-se classificar o incêndio, basicamente em duas formas: “[...] pela **natureza** e pela **quantidade** dos materiais combustíveis existentes nas áreas a serem protegidas”. (GOMES, 1998, p.26, grifo nosso)

Segundo o Regulamento de Segurança contra Incêndio e Pânico do Distrito Federal<sup>33</sup> (RSIP-DF), a classificação pela natureza dos materiais é a que segue:

I – Incêndios Classe A – incêndios em materiais sólidos comuns, de fácil combustão, tais como: madeira, fibras, papel, tecido, plásticos e similares;

II – Incêndios Classe B – incêndios em líquidos e gases combustíveis e inflamáveis, tais como: gasolina, álcool, óleo, solventes, GLP, e ainda, cera, graxas, vernizes e similares;

III – Incêndios Classe C – incêndios em instalações e equipamentos eletro-eletrônicos energizados, tais como: motores, aparelhos elétricos e eletrônicos, como circuladores de ar, televisores, aparelhos de ar condicionado, rádios e similares; e

IV – Incêndios Classe D – incêndios em metais, tais como: sódio, titânico, urânio, magnésio, potássio, zircônio, alumínio em pó, e outros materiais que exijam processos especiais de extinção.

Ao se tratar de combustão, faz-se referência à velocidade da queima (cinética química). O incêndio se enquadra no que se chama “combustão viva”, caracterizada pelo forte calor liberado. E ainda, tal calor depende da capacidade do material de produzi-lo, ou seja, do seu poder calorífico. Logicamente, se cada material combustível tem uma capacidade própria de produzir esse calor, quanto maior for a quantidade envolvida, tanto maior será o calor liberado. Assim, os materiais existentes na edificação, todos combustíveis, sejam os aplicados na construção, sejam os utilizados na sua ocupação, definirão a quantidade de calor que poderá ser liberada na hipótese de uma queima total desses materiais. Na prática, todavia, só

---

<sup>32</sup> O risco de incêndio, relacionado às edificações é a possibilidade ou probabilidade de perigo que há em função do tipo de construção ou ramo de atividade de uma determinada edificação ser vítima de um incêndio e as conseqüências da ocorrência do fato. (MELO, 1999)

<sup>33</sup> Este Regulamento é utilizado pelo Corpo de Bombeiros do Distrito Federal (CBMDF) para aprovação de projetos e consultas relativos à segurança contra incêndio.

são considerados os materiais existentes na ocupação do prédio. Deste modo, calcula-se a quantidade encontrada por unidade de área ocupada, originando o que se conhece por “carga incêndio”, isto é, a quantidade de calor que poderá ser gerado, por unidade de área, pela queima de todo o material combustível existente na edificação. (GOMES, 1998)

Esta “carga incêndio” dá origem a três tipos de Risco de incêndio: Leve (Risco 1 – carga incêndio até 270.000 kcal/m<sup>2</sup>); Médio (Risco 2 – carga incêndio de 270.000 a 540.000 kcal/m<sup>2</sup>) e Pesado (Risco 3 – carga incêndio de 540.000 a 1.080.000 kcal/m<sup>2</sup>). Podem ser considerados de acordo com a quantidade de liberação de calor: fraca, moderada ou elevada, respectivamente. (GOMES, 1998)

O RSIP-DF considera a classificação dos riscos de incêndio em relação à Classe de Ocupação da Edificação na Tarifa de Seguro Incêndio do Brasil (TSIB)<sup>34</sup>, do Instituto de Resseguros do Brasil (IRB-Brasil Re), e reclassifica-os na Norma Técnica nº 002 de 2000, do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), em cinco classes:

Classe A – riscos isolados cujas classes de ocupação, na TSIB, sejam 1 e 2;

Classe B – 1 – riscos isolados cujas classes de ocupação, na TSIB, sejam 3 e 4;

Classe B – 2 – riscos isolados cujas classes de ocupação, na TSIB, sejam 5 e 6;

Classe C – 1 – riscos isolados cujas classes de ocupação, na TSIB, sejam 7 e 8 e 9; e

Classe C – 2 – riscos isolados cujas classes de ocupação, na TSIB, sejam 10, 11 e 12.

---

<sup>34</sup> O seguro de incêndio no Brasil, de uma forma organizada, teve sua origem no final do século XIX. As seguradoras que atuavam no país naquela época trouxeram para o Brasil conceitos que já eram adotados na Europa, contribuindo decisivamente para o desenvolvimento desse tipo de seguro no país. No final de 1952, com a publicação da TSIB, foram eliminadas as tarifas estaduais e introduzidos novos conceitos para taxaço e classificação de riscos. O IRB criou o Manual de Resseguro Incêndio, considerado um marco na classificação de riscos. (CRUZ & SOARES, 2008)

A classificação do risco de incêndio de uma edificação se dá em função das características da mesma, onde deve ser considerado tipo de construção, altura, área construída, a proximidade com outras edificações, a atividade que nela se desenvolve, as conseqüências diretas e indiretas de um incêndio na edificação (distribuição de energia, centrais de telecomunicações), além de outras características. (MELO, 1999)

É importante destacar que tal classificação de risco fornecida pela TSIB, adotada pela RSIP-DF, não contempla todas as variáveis envolvidas em um incêndio, pois este documento classifica as edificações somente pelas atividades que nela se desenvolvem.

Deste modo, a probabilidade de surgimento de um foco de incêndio a partir da interação dos materiais combustíveis trazidos para o interior do edifício e dos materiais combustíveis integrados ao sistema construtivo caracteriza o risco do início de incêndio.

Caso haja uma oxigenação do ambiente por meio de comunicações (diretas ou indiretas) com o exterior, o fogo irá progredir intensamente, atingindo o estágio de inflamação generalizada.

Logo, a probabilidade de o incêndio passar da fase inicial para a fase de inflamação generalizada, isto é, a probabilidade de o foco do incêndio evoluir até atingir a inflamação generalizada caracteriza o risco de crescimento de incêndio. (MITIDIERI, 2008)

A geração de fumaça e de gases tóxicos, a redução da quantidade de oxigênio disponível e o calor desenvolvido em estágios mais avançados são fatos característicos das distintas fases do incêndio e que oferecem risco à vida humana.

O risco à propriedade está presente desde o momento do início do incêndio e pode evoluir gradativamente, atingindo a inflamação generalizada no ambiente e a propagação do fogo para outros ambientes e edifícios vizinhos.

Todas essas categorias de risco apresentam-se intimamente inter-relacionadas. Qualquer dispêndio para o controle de uma delas redundaria no controle das outras, exceto quando se refere ao risco à vida humana, pois esta é consequência do controle de todas as outras categorias e beneficia-se de todos os controles efetuados. Por se tratar da categoria mais importante, o risco à vida humana incentiva o controle das outras categorias de risco, justificando quaisquer controles extras que não resultam em benefícios aos demais riscos, como por exemplo, o controle da evacuação segura do edifício.

Quando todos esses conhecimentos sobre o fogo e o incêndio são aplicados de forma a atender à segurança patrimonial e da vida humana, tem-se a Segurança contra Incêndio.

## 2.2 COLETA DE DADOS DE INCÊNDIO NO BRASIL

A coleta de dados de incêndio é muito importante, pois propicia, entre outros, o desenvolvimento de novas tecnologias de prevenção e combate à incêndio. (DUARTE; RIBEIRO, 2008)

A aplicação mais concreta e imediata dos resultados obtidos através da análise de dados de incêndio é a definição clara dos objetivos e o mais adequado direcionamento da política de segurança contra incêndio a ser efetivada pelos órgãos competentes.

A normalização do sistema de coleta de dados de trabalho de bombeiros visa obter uma linguagem única para a coleta e o registro de dados de todo o país.

Os dados de incêndios existentes, em nível nacional, foram divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio de Anuários Estatísticos do Brasil até 1991, ano em que o levantamento foi suspenso a pedido do Ministério da Justiça (MJ). A decisão levou em conta a inconsistência dos dados coletados na década de 1980, onde um estudo realizado pelo Departamento de Indicadores Sociais do IBGE já apontava as dificuldades na obtenção das informações e a falta de registros completos para análise. Tais dados já não estariam cumprindo seu papel de informar sobre a efetividade dos serviços de

bombeiros para melhoria da qualidade de vida da população, por meio do exercício de suas atividades principais: prevenção e combate a incêndios, salvamento/resgate, urgência médica e outros serviços à comunidade. (DUARTE; RIBEIRO, 2008)

Pode-se dizer que os dados fornecidos até 1991 nos Anuários mostram uma grande variação nos itens divulgados, chegando a apresentar, em certos anos, somente o número do efetivo dos corpos de bombeiros e o número total de incêndios por estado e, em outros anos, informações mais detalhadas, porém, nunca divulgando todos os resultantes do levantamento realizado pelo IBGE. Várias hipóteses, não confirmadas, podem justificar a não divulgação destes dados de forma integral, variando desde motivos de “segurança nacional”, resultados não-confiáveis (variação muito grande nos dados ou incompatibilidade dos itens requisitados com a realidade) até a falta de infraestrutura para processamento de grande quantidade de dados coletados e que pode ter levado à suspensão. (ONO, 1996)

Na série histórica de Anuários Estatísticos de 1937 e 1994, as informações sobre ocorrências de incêndios tornam-se sistemáticas a partir de 1951. As informações referentes às capitais deixaram de ser divulgadas a partir de 1976 e no ano de 1990 os dados foram divulgados apenas para o total do Brasil, sem haver qualquer detalhamento por Estados ou por Municípios. (DUARTE; RIBEIRO, 2008)

O primeiro registro encontrado refere-se a incêndios ocorridos em 1936 na região do Distrito Federal. As modificações mais significativas aparecem em 1982, com a inclusão de incêndios em veículos, sexo das vítimas, dados sobre vítimas da corporação, extensão do incêndio e causa provável. (DUARTE; RIBEIRO, 2008)

Em gráfico destacado a seguir, destaca-se a representação do número de incêndios ocorridos no Brasil publicados pelo IBGE de 1966 a 1990. (ONO, 1996)

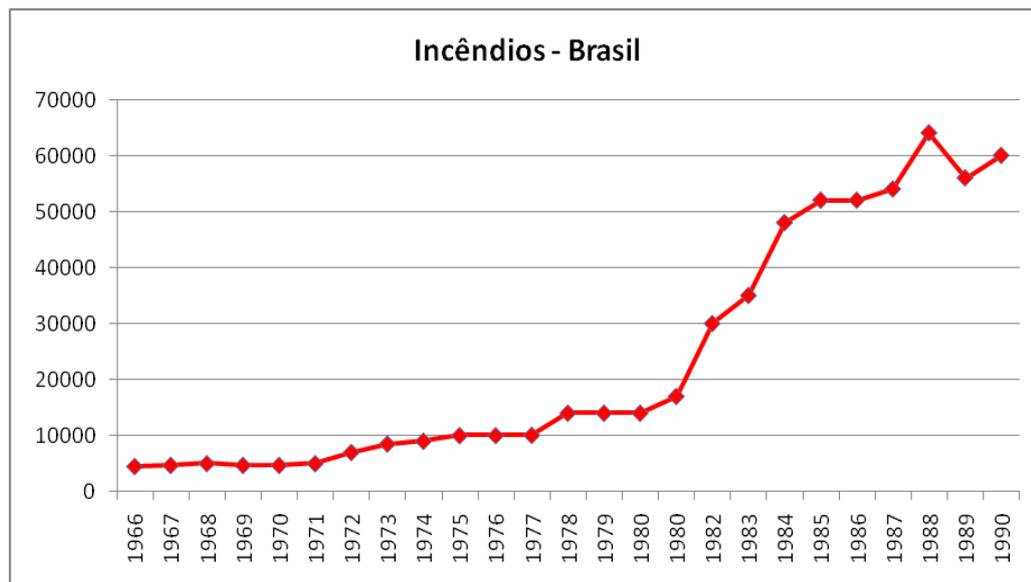


Gráfico 3 – Total de incêndios no Brasil – 1966/1990.

Fonte: ONO, Rosária. Um sistema nacional de coleta de dados de incêndio. 1996.

Em análise realizada por Rosária Ono, o estado de São Paulo representa uma quantidade significativa de incêndios em relação às ocorrências no Brasil. Acredita-se que tal fato pode ser justificado pela concentração populacional do estado e seu nível de desenvolvimento econômico.

Corpos de bombeiros de vários estados brasileiros têm coletado dados de incêndio, utilizando diferentes formulários de coleta com conteúdos também variados. Atualmente, não existe uma padronização dos dados a serem coletados ou dos formulários de coleta utilizados entre os estados.

Em visita à sede do IBGE, em Brasília-DF, verificou-se que, atualmente, a única coleta de dados sobre incêndios do Instituto seria relativa à degradação do meio ambiente através das queimadas.

Deste modo, Ono (1996) destaca:

É possível afirmar que grande parte dos Corpos de Bombeiros de estados economicamente desenvolvidos apresenta uma maior preocupação na coleta e no tratamento adequado dos dados de suas atividades, o que reflete num sistema melhor elaborado. (ONO, 1996, p.1)

Concentram-se nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro o maior número de pesquisadores e elaboradores de normas vigentes no país, visto que há uma multidisciplinaridade de conhecimentos sobre ocorrências de incêndio, inclusive com a participação de membros do Corpo de Bombeiros.

Em dezembro de 1997, foi aprovada a Norma Brasileira – NBR 14023 – Registro de atividades de bombeiros. Esta norma abrange, além da consolidação de dados de incêndios, as demais ações realizadas pelos bombeiros no seu atendimento às ocorrências.

Assim, a referida norma pretendeu incluir o que se considerou o mínimo indispensável para a obtenção de parâmetros de comparação em nível nacional e internacional, permitindo liberdade às diferentes organizações para incluírem outros dados para uma melhor análise e diagnóstico de suas situações particulares, de acordo com seus julgamentos. (DUARTE; RIBEIRO, 2008)

Tendo-se um banco de dados padronizados, formando o “Sistema Nacional de Coleta e Análise de Dados de Bombeiros”, este seria capaz de fornecer, segundo Duarte e Ribeiro (2008), dentre outras, as seguintes informações para:

- a) revelar a extensão dos prejuízos causados por incêndios e outros sinistros atendidos e os principais problemas encontrados;
- b) identificar os problemas que requer ações mais efetivas e desenvolvimento de pesquisas;
- c) orientar ações de prevenção e proteção da vida humana, do patrimônio e do meio ambiente; e
- d) orientar o desenvolvimento efetivo de códigos, regulamentações e normas de segurança em edificações, meios de transporte, atividades profissionais e de proteção ambiental. (DUARTE; RIBEIRO, 2008, p.353-354).

No Distrito Federal (DF), o Corpo de Bombeiros possui um Centro de Investigação e Prevenção de Incêndio (CIPI). O CIPI subdivide-se em três seções: Seção de Perícias, Seção de Pesquisas e Seção de Estatística/Ensino, onde este último possui duas subseções: Coleta e Análise de Laudos e Subseção de Divulgação e Arquivo.

O CIPI, órgão de apoio do Sistema de Engenharia de Segurança, subordinado a Diretoria de Serviços Técnicos do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), destina-se a: realizar a investigação de incêndio e explosões em todo o território do DF; realizar análises laboratoriais relacionadas à investigação de incêndios e de explosões; e emitir conclusões técnicas sobre atividades preventivas, possuindo, ainda, as seguintes atribuições:

- a) Coordenar, executar e controlar todas as atividades relacionadas com a investigação de incêndio e explosão.
- b) Realizar perícias de incêndio e de explosões de acordo com a legislação pertinente.
- c) Realizar estudos técnicos dos fatos que provocam incêndios e explosões.
- d) Realizar periodicamente estatísticas dos incêndios ocorridos dentro do Distrito Federal e disponibilizá-los, com a finalidade de elaborar programas de prevenção voltados para a comunidade. (Relatório de Perícia, CIPI, 2007)

O CIPI tem arquivados os laudos periciais. Para o CIPI, os laudos periciais têm como finalidade, além da retroalimentação do sistema visando minimizar as causas mais freqüentes (que é também importante para melhoria de projetos de arquitetos, projetistas e engenheiros), auxiliar como peça de instrução a inquéritos policiais, auxiliar a justiça com informações sobre o incêndio e auxiliar as vítimas do sinistro quanto ao esclarecimento das causas do incêndio para fins de seguro.

Na cidade de Brasília, o CBMDF é o responsável pela Gestão do Risco de Incêndio no Distrito Federal.

O modelo legal adotado pelo CBMDF para tal fim fundamenta-se em um processo integrado e cíclico de ações, reações, estudos e revisões, o que compreende em:

1. Elaboração de Normas Técnicas - O CBMDF elabora legislações (normas técnicas) de alcance interno ou externo à Instituição, para serem aplicadas ao seu público interno, principalmente em forma de capacitações e ou padronizações de análises, estudos, procedimentos e outras ações, e também para influenciar (proporcionando eliminação ou mitigação de riscos), os cenários, os objetos (bens móveis duráveis), as edificações, os eventos, entre outros ambientes que são suscetíveis a ocorrências de Incêndio, explosão ou pânico.

2. Prevenção Técnica – Militares do CBMDF investidor de Poder de Polícia, constatarem *in loco* se os sistemas projetados, requeridos e instalados estão atendendo às legislações aplicáveis às edificações, sistemas, cenários, eventos entre outros ambientes propícios aos sinistros.

3. Resposta aos Sinistros – Atuação nos cenários sinistrados por parte dos preventivos (podendo ser os fixos ou os móveis ou ainda ser o tipo ou padrão de construção ou recursos humanos capacitados, entre outros); também dos agentes públicos, como os militares do CBMDF que atuam na circunscrição ou eventualmente deslocados para tais sinistros; transeuntes e população da edificação, evento ou cenário.

4. Avaliação Técnica – Fase do processo de Gestão que consiste em contribuir para as outras etapas processuais, promovendo análises das atuações, das normas aplicáveis e da eficiência/eficácia das ações e equipamentos preventivos, realimentado as demais fases do processo por meio de estudos, relatórios, laudos e eventos. (Relatório de Perícia, CIPI, 2007)

Esta última fase, a Avaliação Técnica, é desenvolvida pelo CIPI. Na ocorrência de algum evento, o CBMDF desloca-se para atuar e resgatar a normalidade do ambiente, objeto ou sistema. A coordenação do evento (oficial superior que concorre à escala de Oficial de Operações do CBMDF junto à Central Integrada de Atendimento e Despacho – CIAD), subsidiado pelo militar que chefiou a atuação do CBMDF no local sinistrado ou por demanda do proprietário, usuário, responsável, interessado ou envolvido, aciona uma equipe do CIPI para realizar o levantamento das causas, conseqüências, ações e omissões que permitiram, influenciaram, facilitaram e até impediram o surgimento e ou a extinção dos eventuais sinistros. Também neste ato é possível, salvo em casos excepcionais, realizar-se perícias técnicas, atendendo ao preceituado em legislações específicas. Estas fases do Processo de Gestão denominam-se Ciclo Operacional do CBMDF. (CIPI, Relatório de Perícia, 2007)

As estatísticas desenvolvidas e revisadas, resultantes de avaliações técnicas dos laudos periciais, são de grande importância na condução do Processo de Gestão, a não recorrência dos sinistros e, conseqüente desenvolvimento da sociedade, do CBMDF e dos indivíduos afetados de alguma forma pela ocorrência registrada. Assim, o que se pretende é que tais dados ou informações possibilitem melhores resultados preventivos ao DF ou até mesmo ao país.

Mesmo assim, segundo o engenheiro civil e de segurança do trabalho, o Tenente Coronel Eduardo Alexandre Loureiro Melo, do CBMDF, destaca-se que as estatísticas periciais comprovam que cerca de 60% dos incêndios são causados por ação pessoal, quer intencional ou acidental e, em segundo lugar, vêm os fenômenos termelétricos, com 15% das causas, levando-se em consideração que estes fenômenos, em sua maioria, são causados por instalações improvisadas, inadequadas ou não têm manutenção constante, e que estes dois fatores podem ser enquadrados como responsabilidade humana direta.

É importante lembrar que a perícia feita pelo CBMDF é de caráter reativo, ou seja, é necessariamente solicitada para ser realizada. Assim, o número de ocorrências em que se realizam a perícia não representa a totalidade de eventos.

As informações obtidas pela análise dos laudos periciais foram agrupadas em treze campos:

- 1) às Regiões Administrativas;
- 2) aos bens sinistrados;
- 3) aos tipos de ambientes;
- 4) aos dias da semana;
- 5) à hora da ocorrência;
- 6) à causa;
- 7) à subcausa;
- 8) ao tempo de resposta;
- 9) ao agente extintor;
- 10) ao tempo de socorro feito por populares;
- 11) ao objeto causador;
- 12) à zona de origem; e
- 13) às ocorrências de vítimas. (Relatório de Perícia, CIPI, 2007)

Todas são importantes do ponto de vista do resultado desejado: suprir a deficiência de informações sobre a coleta de dados de incêndio no DF.

Um dos pontos mais relevantes, ou que pode ser considerado o mais importante a ser observado é a ocorrência de vítimas, aspecto relacionado diretamente à proteção da vida. (Tabela 1)

Tabela 1 – Estatísticas de incêndio dos anos 2002 a 2008 no DF, segundo a ocorrência de vítimas

<b>ANO</b>	<b>VÍTIMAS FATAIS</b>	<b>VÍTIMAS NÃO FATAIS</b>
<b>2002</b>	04	18
<b>2003</b>	04	19
<b>2004</b>	03	31
<b>2005</b>	05	14
<b>2006</b>	03	16
<b>2007</b>	03	14
<b>2008</b>	03	24
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>136</b>

Fonte: Relatório de Perícia, CIPI-2007: Boletim de fatores envolvidos nos incêndios e sinistros – 2002-2007. Relatório Anual de Perícia, CIPI-2008: Anexo 04, do BG nº 13, de 20 de janeiro de 2009.

Segundo informações da CIPI, as edificações são as responsáveis pela ocorrência do maior número de registros de incêndios.

Considerando o número total de ocorrências a partir de dados das regiões administrativas, observa-se que tal estatística vem diminuindo entre 2002 e 2007, sendo que se identificou um pequeno aumento no ano de 2008, de cerca de 18% do total de ocorrências do ano anterior. (Gráfico 4)



Gráfico 4 – Número de ocorrências entre os anos de 2002 e 2008 no DF.

Fonte: Relatório de Perícia, CIPI-2007: Boletim de fatores envolvidos nos incêndios e sinistros – 2002-2007. Relatório Anual de Perícia, CIPI-2008: Anexo 04, do BG nº 13, de 20 de janeiro de 2009.

Realizando um paralelo com o número de ocorrências de incêndio do estado de São Paulo, observa-se que, diferentemente do Distrito Federal, houve um crescimento entre os anos de 2004 e 2006. (Gráfico 5)

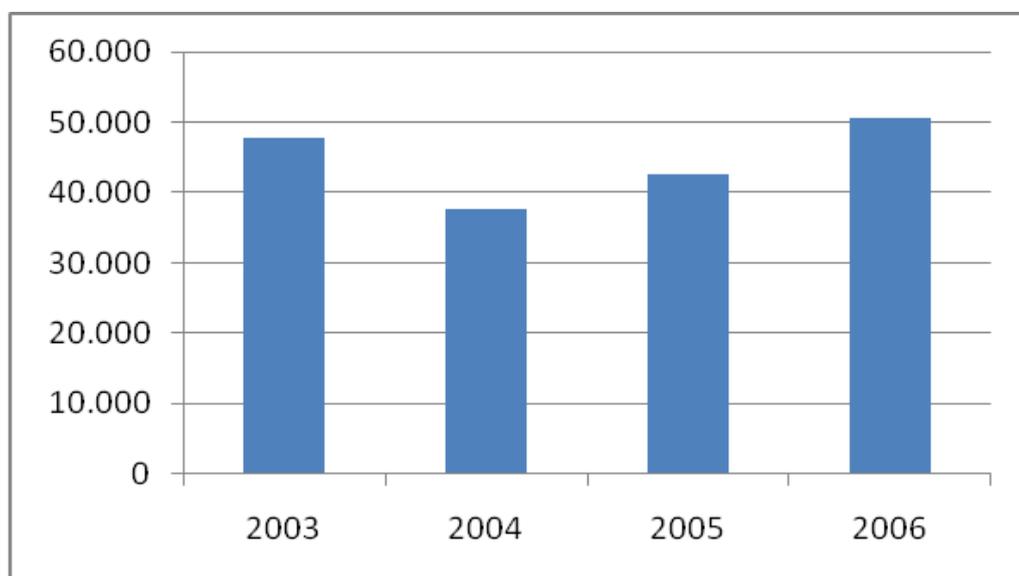


Gráfico 5 – Tendência dos incêndios no Estado de São Paulo.

Fonte: Anuário Estatístico do CBMPMESP/Departamento de Operações, 2008.

Em análise por Região Administrativa do DF, as cidades de Taguatinga e Ceilândia, e os bairros de Brasília, Asa Sul e Asa Norte, são as regiões que mais apresentaram registro de sinistros. Considerando a macrorregião do Plano Piloto - Asa Sul e Asa Norte – observa-se a ocorrência da maioria das ocorrências entre 2002 e 2008. (Gráfico 6)

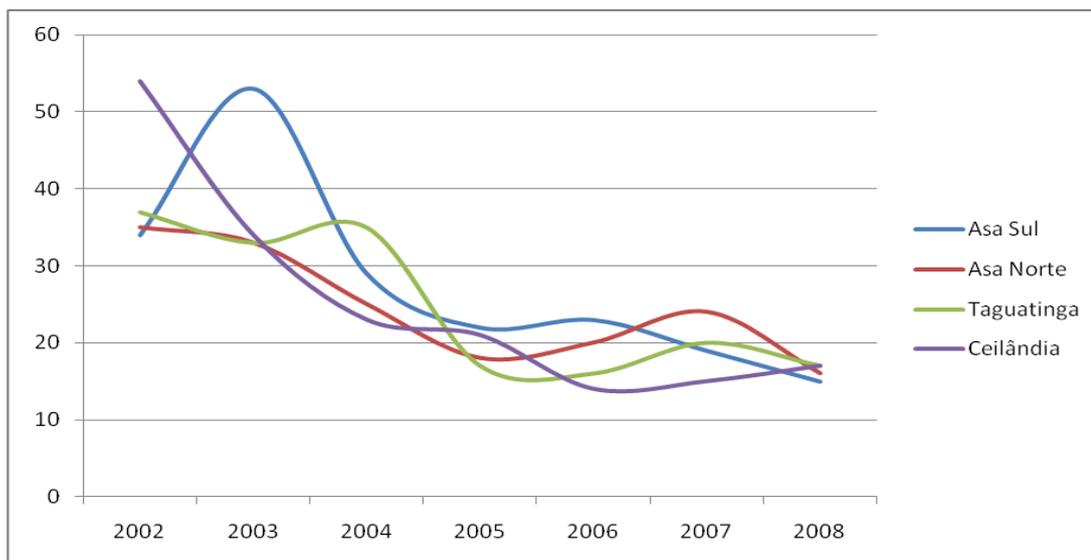


Gráfico 6 – Número de ocorrências em quatro regiões administrativas do DF entre os anos 2002 e 2008.

Fonte: A partir de dados do Relatório de Perícia, CIPI-2007: Boletim de fatores envolvidos nos incêndios e sinistros – 2002-2007 e do Relatório Anual de Perícia, CIPI-2008: Anexo 04, do BG nº 13, de 20 de janeiro de 2009.

Como destacado anteriormente, o risco é a interação de uma ameaça em um ambiente vulnerável, ou seja, aquilo que pode gerar incêndio, explosão, pânico sobre cenários, sistemas, pessoas ou bens de forma a prejudicá-los.

A análise interativa dos componentes de um risco é a forma moderna de Gestão de Risco ou Gestão de Segurança. Identificando-se os fatores causadores e contribuintes e correlacionando-os às vulnerabilidades dos cenários, têm-se os pontos sensíveis que devem ser tratados para redução e até a eliminação dos sinistros previsíveis.

As causas, identificadas pelos laudos periciais são as precursoras das ameaças – outro componente do Risco.

Identificando-se os fatores que influenciam o surgimento do sinistro, é possível a aplicação de ações, programas e políticas que previnam a recorrência de tais fenômenos.

Nos anos de 2002 a 2008, observou-se que a ação pessoal, seja ela intencional ou acidental, é a maior causa de incêndio, evidenciando ser possível, por meio de mudança de comportamento humano, a diminuição dos riscos de incêndio. (Gráfico 7)

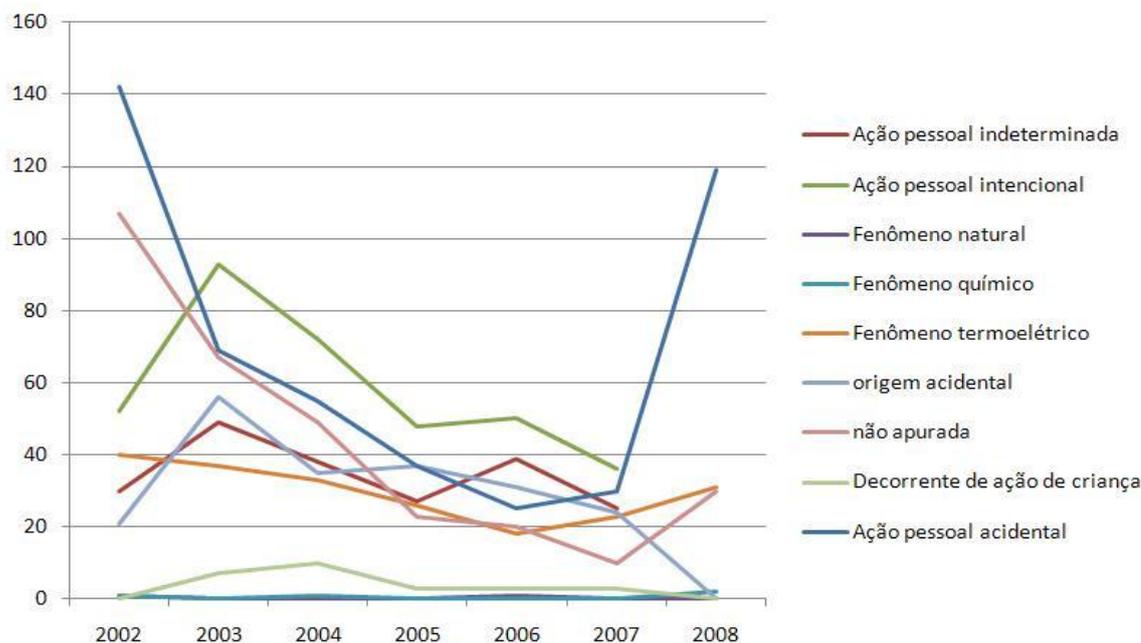


Gráfico 7 – Principais causas de sinistros entre os anos de 2002 e 2008 no DF.

Fonte: A partir de dados do Relatório de Perícia, CIPI-2007: Boletim de fatores envolvidos nos incêndios e sinistros – 2002-2007 e do Relatório Anual de Perícia, CIPI-2008: Anexo 04, do BG nº 13, de 20 de janeiro de 2009.

Junto às causas de incêndio, existem também as subcausas. Dentre elas, em primeiro lugar de ocorrência, o contato direto com a chama (contato de chama ou brasa), depois, o surgimento do curto circuito e o defeito de funcionamento, respectivamente.

Outro item de investigação são os dados estatísticos relacionados ao “bem sinistrado”. As ocorrências ocorrem com maior frequência em casas residenciais unifamiliares. (Tabela 2)

Tabela 2 – Perícias de incêndio dos anos 2002 a 2008 no DF, segundo bens sinistrados.

<i><b>Bem sinistrado</b></i>	<i><b>Ocorrências</b></i>	<i><b>Porcentagem</b></i>
<b>Casa residencial</b>	621	31%
<b>Apartamento</b>	165	8,25%
<b>Prédio public</b>	108	5,40%
<b>Prédio comercial</b>	95	4,75%
<b>Representam 49,4% do total de Ocorrências</b>		

Fonte: A partir de dados do Relatório de Perícia, CIPI-2007: Boletim de fatores envolvidos nos incêndios e sinistros – 2002-2007 e do Relatório Anual de Perícia, CIPI-2008: Anexo 04, do BG nº 13, de 20 de janeiro de 2009.

Vale lembrar que, segundo a Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN), essas casas (residências unifamiliares) representam cerca 70% e os apartamentos representam um pouco mais de 20% dos domicílios do Distrito Federal, caracterizando-se como uma unidade federativa de edificações horizontais. Os prédios mais altos estão presentes na região central do Plano Piloto, tipicamente de edifícios comerciais e de escritórios, e de tipologia residencial na região da cidade de Águas Claras, com edifícios de até vinte e três andares.

Outro ponto importante são os sinistros ocorridos na área de comércio, visto que, além da população fixa, tem-se a presença de uma população flutuante. Assim, o número de vítimas pode ser maior do que em uma residência.

Assim, a aquisição, de maneira sistemática, dos dados de incêndio, quando tratados de maneira correta, fornece subsídios essenciais à pesquisa e realimentam todas as frentes de atuação do Poder Público, dinamizando-as, atualizando-as e otimizando-as.

O quadro a seguir relaciona a estatística de incêndio e pesquisa com as demais frentes de atuação do Poder Público.

Quadro 3 – Atuação da estatística de incêndio e da pesquisa nas demais frentes de atuação do poder público.

FONTES DE ATUAÇÃO	ATUAÇÃO DA ESTATÍSTICA E PESQUISA
Regulamentação	Evidencia a necessidade de alteração e/ou implantação de novos requisitos
Normalização	Evidencia a necessidade de aprimoramento e/ou implantação de novas normas
Fiscalização	Evidencia a necessidade de concentrar esforços em aspectos que não estão sendo atendidos e que devem ser verificados com mais acurácia
Educação	Evidencia a necessidade de criação de campanhas educativas e cursos especializados de formação pessoal
Combate	Evidencia falhas no dimensionamento e distribuição do efetivo e equipamentos de combate

Fonte: MITIDIARI, 2008.

Muito se pode aprender com a coleta e análise de dados de incêndio. Relacionado a isso, aprender com os grandes incêndios também é uma forma de mobilizar segmentos da sociedade para a mudança das condições vigentes de segurança contra incêndio. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

### 2.3 A EVOLUÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO NO BRASIL E NO MUNDO

Segurança é aquilo que está livre de risco ou de perigo. Perigo é o estado ou situação que inspira cuidado e que pode produzir danos. (MELO, 1999)

A Segurança contra Incêndio deve ser encarada como uma ciência, portanto, uma área de pesquisa, desenvolvimento e ensino.

Observar e aprender com os grandes incêndios pode ser um ponto de partida para a evolução da Segurança contra Incêndio.

A partir do momento em que ocorrem os grandes incêndios, nota-se uma mobilização da sociedade quanto à segurança. Deste modo, é comum surgirem alguns questionamentos: Como começou o incêndio? O que aconteceu realmente? Qual sua causa? Quem são os culpados? Alguém se feriu? Alguém faleceu?

Analisando as condições das edificações sinistradas, pode-se, e deve-se, tirar proveito de informações colhidas para melhoria de normas, na busca do conhecimento técnico e específico da construção civil e desenvolvimento de projetos, além da aplicação de medidas preventivas que podem ser realizadas pela própria população.

Incêndios como o de cidades, ocorridos, por exemplo, em Roma (64 d.C.), Londres (1666), Hamburgo (1842), Chicago (1871), Boston (1872), entre outras, possuem características restritas nas quais não se acredita em sua repetição. Isso porque, com a moderna urbanização e com a presença de automóveis, as cidades sentiram a necessidade de construção de ruas e avenidas e as construções foram afastadas entre si, na maior parte das cidades, dificultando a propagação em massa do fogo.

Consideram-se as grandes estruturas atuais, destinadas a concentração de maior público e que demonstram, em relação às edificações, o avanço da tecnologia da construção, como edifícios altos e complexos, centro de convenções, *shoppings*, além de outros tipos.

Nos Estados Unidos da América (EUA), a segurança contra incêndio, ou suas técnicas, dava ênfase na proteção patrimonial, até que a ocorrência de quatro grandes incêndios, entre os anos de 1903 e 1911, fez com que o país reformulasse seus conceitos. (GILL; NEGRISOLO; OLIVEIRA, 2008)

O primeiro desses incêndios foi o ocorrido no Teatro Iroquois, em Chicago, em 30 de dezembro de 1903. (Figura 42)



Figura 42 – Imagem da entrada do Teatro Iroquois, em Chicago, EUA, em 1903.

Fonte: [http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Iroquois\\_Theater\\_Fire](http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Iroquois_Theater_Fire)

Na ocasião, de um total de um mil e seiscentas pessoas que estavam dentro do recinto, seiscentos indivíduos foram vítimas da tragédia. Na época, medidas como pessoas aptas a orientar ações de abandono e implantação de adequadas saídas devidamente desobstruídas ou destrancadas, já eram solicitadas ao proprietário da edificação, mas nem todas foram adotadas e outras não funcionaram como deveriam.

Outro incêndio de relevante importância ocorreu em Boyertown, Pensilvânia, na Casa de Ópera Rhoades, em 13 de janeiro de 1908, devido à queda de uma lâmpada de querosene. O local do princípio de incêndio situava-se no segundo pavimento do edifício. As saídas estavam fora de padrão ou obstruídas. A estreita saída existente não foi suficiente e cento e setenta pessoas morreram. (Figura 43)



Figura 43 – Foto da Casa de Ópera Rhoades, Boyertown, EUA, de 2007.

Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Boyertown\\_Opera\\_House\\_Building.JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Boyertown_Opera_House_Building.JPG)

O terceiro incêndio, e talvez o maior incêndio ocorrido em escola nos EUA, aconteceu em 4 de março de 1908, na Escola Elementar Collinwood em Lake View. Foram cento e setenta e duas crianças mortas, mais dois professores e uma pessoa que tentava socorrer as vítimas. (Figura 44)



Figura 44 – Escola Elementar Collinwood, em Lake View, EUA.

Fonte: <http://www.deadohio.com/collinwood.htm>

A Figura 45 destaca a referida escola nos dias atuais.



Figura 45 – Escola Elementar Collinwood, em Lake View, EUA.

Fonte: <http://www.deadohio.com/collinwood.htm>

Após essa tragédia, os americanos vislumbraram a melhoria de códigos e normas, além da prática de exercícios de escape e de combate ao fogo.

Em 25 de março de 1911, em Nova York, incendiou-se a Triangle Shirtwaist Factory. A fábrica de vestuário situava-se em um edifício alto, o edifício Arch. O incêndio provocou a morte de cento e quarenta e seis pessoas, em sua maioria jovens mulheres imigrantes, com menos de dezoito anos de idade, que, em sua maioria, no decorrer da situação, se projetavam pelas janelas ou morreram nas

escadas e corredores. Em trinta e cinco minutos, o incêndio atingira toda a edificação. (Figura 46)

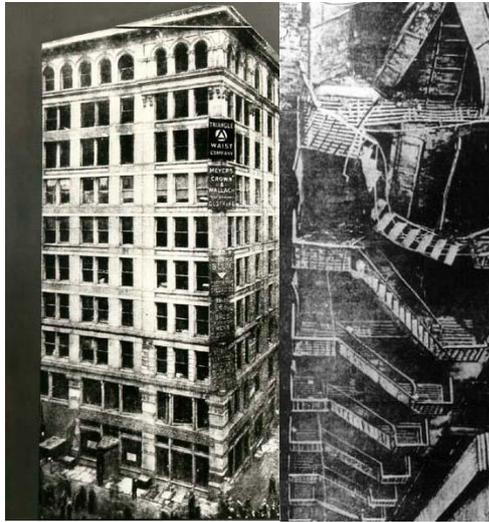


Figura 46 – Fachadas da fábrica de vestuário Triangle Shirtwaist Factory, em Nova York, EUA, e detalhe da escada da fábrica.

Fonte: [http://www.ilr.cornell.edu/trianglefire/photos/photo\\_display.html?sec\\_id=3](http://www.ilr.cornell.edu/trianglefire/photos/photo_display.html?sec_id=3)

Em 1914, devido a esse episódio ocorrido na fábrica, a *National Fire Protection Association* (NFPA)<sup>35</sup> publicou sua quinta edição do *Handbook Fire Protection*, um Manual de Proteção contra Incêndio dos EUA, e que possuía como diferencial em relação às outras edições a ênfase à proteção de vidas e não somente de propriedades.

Foi também após o incêndio da Triangle Shirtwaist Factory que a NFPA criou o Comitê de Segurança da Vida, origem do Código de Segurança da Vida (NFPA 101). A primeira publicação desse comitê é o texto: “Sugestões para Organização e Execução de Exercícios de Incêndio”.

---

<sup>35</sup> A *National Fire Protection Association* é uma associação americana que tem como missão reduzir as perdas devido a incêndios e a outros riscos para a qualidade de vida, fornecendo e defendendo por consenso: código, padrões, normas, pesquisa, treinamento e educação. É uma das associações mais respeitadas em todo o mundo, além de ser uma referência internacional.

Mais adiante, tal comitê manifestava algumas indicações para a construção de escadas, de saídas de incêndio para o abandono de diversos tipos de edifícios e a construção e disposição de saídas de emergência em fábricas, escolas, entre outros, que até hoje constituem a base desse código. (GILL; NEGRISOLO; OLIVEIRA, 2008)

Diante do tema em questão, não é somente a NFPA que pesquisa e elabora códigos e normas<sup>36</sup> sobre segurança contra incêndio. Faz-se importante destacar outras associações internacionais que incentivam e colaboram com o desenvolvimento das pesquisas em Segurança contra Incêndio, como por exemplo:

- IAFSS – *The International Association for Fire Safety Science*;
- SFPE – *Society of Fire Protection Engineers*; e
- FPA – *Fire Protection Association*.

Faz-se igualmente importante o destaque de algumas instituições de pesquisa e laboratórios de outros países (DEL CARLO, 2008):

- CSTB – Centre Scientifique et Technique Du Bâtiment – França;
- BRE – Building Research Establishment/ FRS – Fire Research Station – Reino Unido;
- NIST – National Institute of Standards and Technology – BFRL – Building Fire Research Laboratory – Estados Unidos;
- BRI – Building Research Institute – Department of Fire Engineering – Japão.

Os laboratórios garantem pesquisa, desenvolvimento, testes e certificações, visando à segurança e a um mercado mais competitivo. (DEL CARLO, 2008)

A proteção à vida humana e ao patrimônio são os objetivos de todos os laboratórios e associações.

---

<sup>36</sup> A norma é definida como sendo o documento disponível para o público, estabelecido com a cooperação e o consenso ou aprovação geral de todas as partes com interesses afetados, baseados nos resultados consolidados da ciência, tecnologia e experiência, visando à promoção do benefício ótimo para a comunidade e aprovada por um organismo reconhecido. (SEITO, 1996)

A pesquisa científica e investigativa é de extrema importância, no qual oferece uma análise conclusiva dos fenômenos físicos, químicos e humanos envolvidos no incêndio. (DEL CARLO, 2008)

No Brasil, desde 1940, tem-se a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

As normas brasileiras da ABNT são elaboradas, revisadas e atualizadas por Comissões de Estudo (CE), que são tecnicamente autônomas e responsáveis pelas normas que elaboram, suas decisões são tomadas por consenso e devem ter a participação dos representantes de fabricantes, usuários e entidades neutras (institutos, laboratórios, etc.)

Muitas das normas fazem referência às legislações e aos códigos internacionais.

A ABNT tem como benefícios da normalização:

- proteção ao consumidor: a norma traz à comunidade a possibilidade de aferir a qualidade dos produtos e serviços;
- eliminação de barreiras comerciais: a normalização contribui para que as exigências sobre produtos e serviços em diferentes países sejam melhor identificados, facilitando assim o intercâmbio comercial; e
- aumento de produtividade: a normalização possibilita a redução da variedade de produtos, a otimização da produção e redução de desperdício de tempo e materiais.

O Comitê Brasileiro de Segurança contra Incêndio (CB-24) propõe e revisa normas técnicas nacionais relativas à segurança contra incêndio.

Já para norma relativa à Saída de Emergência em Edifícios, mesma esta fazendo parte de medidas passivas de segurança contra incêndio, é revisada pelo Comitê Brasileiro da Construção Civil (CB-02), juntamente com a Comissão de Estudos de Saídas de Emergência em Edifícios.

A NBR 9077 – Saídas de emergência em edifícios – é utilizada como parâmetro para dimensionamento das mesmas em edificações no Distrito Federal.

Entretanto, no Brasil, no que tange à área de segurança contra incêndio, atualmente existe uma grande diversidade de normas e regulamentações (códigos de edificações municipais, estaduais, decretos, leis federais, instruções e normas técnicas do Corpo de bombeiros), além das normas da ABNT.

Tal diversidade de normas ocorre por vários motivos, segundo Melo (1999):

- a falta de padronização entre os órgãos de fiscalização nos diversos Estados brasileiros;
- por ser o Brasil um país de dimensões continentais, têm-se realidades diferentes em cada região, em algumas a fiscalização das condições de segurança contra incêndio sequer é de responsabilidade do Corpo de Bombeiros (muitas vezes essa responsabilidade é de órgãos da Prefeitura), em outros casos não há sequer a corporação no município;
- os Corpos de Bombeiros são instituições estaduais não havendo um comando centralizado em âmbito federal, cada estado estabelece sua regulamentação;
- existem características peculiares a cada região que dificultam e, às vezes, até impedem o cumprimento de todos os parâmetros estabelecidos por norma.

Mas, quais são as normas que devem ser seguidas? Qual o critério de utilização das normas? Melo (1999) destaca que deverão ser seguidas as regulamentações de cada região e, na ausência destas, as normas da ABNT, normas de cunho federal.

Percebe-se ainda uma incompatibilidade de normas, ou seja, além da diferença de modelo, existem medidas de segurança contra incêndios ausentes em uma e presentes em outra, entre outros pontos, deixando claro a falta de comunicação entre os órgãos públicos, fato extremamente prejudicial para todos.

No Distrito Federal, procura-se adotar, para o dimensionamento das instalações prediais, as normas da ABNT, ficando a cargo do Corpo de Bombeiros apenas a regulamentação da obrigatoriedade das instalações para diferentes tipos de edificações, no caso, o Regulamento de Segurança contra Incêndio e Pânico do Distrito Federal (RSIP-DF).

Além disso, nesta unidade da federação brasileira, utiliza-se o Código de Edificações do Distrito Federal que, entre outros, faz referência aos elementos construtivos em relação às edificações.

Além da elaboração e atualizações de normas e regulamentações, e até mesmo de padronização de coleta de dados e pesquisa, existe ainda um longo caminho a ser percorrido em relação à Segurança contra Incêndio no Brasil, como por exemplo, no caso dos bombeiros, no que tange ao aumento dos contingentes, no atendimento a todos os municípios, no melhoramento dos equipamentos, entre outros aspectos; deve-se levar em conta também a necessidade da melhoria na formação dos arquitetos, engenheiros, técnicos e bombeiros, todos envolvidos diretamente na segurança contra incêndio; e ainda, na conscientização e treinamento da população sobre a ocorrência de incêndios.

Infelizmente, o Brasil ainda encontra-se bastante atrasado em relação à Segurança contra Incêndio identificada em outros países. Até o início dos anos 1970, o incêndio era visto como algo que dizia mais respeito ao Corpo de Bombeiros, lembrando que no Brasil ainda não havia existido algum grande incêndio ou incêndio com grande número de vítimas.

O Brasil não colheu o aprendizado decorrente dos incêndios ocorridos nos EUA ou em outros países. Pode-se dizer que, nesta época, o Brasil passava por situação semelhante à dos EUA em 1911. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

O Corpo de Bombeiros possuía alguma regulamentação, advinda da área seguradora<sup>37</sup>, indicando, em geral, a obrigatoriedade de medidas de combate a incêndio, como a provisão de hidrantes e extintores, além da sinalização desses equipamentos. Inexistia, por exemplo, uma norma que tratasse de saídas de emergência. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

---

<sup>37</sup> Toda avaliação e classificação de risco era decorrência do dano do patrimônio, sendo a única fonte reguladora dessa classificação a Tarifa Seguro Incêndio do Brasil (TSIB).

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 da incombustibilidade de escadas e da estrutura de prédios elevados. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

O gerenciamento também pode ser um problema na ocorrência de incêndio. Atualmente, principalmente em edifícios altos e locais de grande concentração de público, existe a preocupação com a segurança patrimonial, por exemplo, Nestes locais, há sempre uma equipe de vigilância ou segurança particular que controla todos os acessos ao prédio. Em situação de incêndio, às vezes mesmo com todas as saídas e escadas bem dimensionadas, mas que se encontram trancadas devido à entrada de estranhos, a equipe de segurança deve estar sempre em alerta para abri-las durante o sinistro, pois qualquer falha pode acarretar na ocorrência de vítimas.

Era linguagem quase corrente que o padrão de construção (em alvenaria) aliado à ocupação litorânea de uma área com alta umidade relativa do ar, se não impediam, ao menos minimizavam, a possibilidade da ocorrência de incêndios.

Em 18 de dezembro de 1970, com o incêndio na Ala 13 da montadora de automóveis Volkswagen, na cidade de São Bernardo do Campo, Brasil, que deixou “[...] uma vítima fatal e com perda total dessa edificação, além de ser um grande exemplo de novo tipo de conflagração, o ocorrido em uma só edificação apontou que a apregoada ausência de risco não passa de crença ingênua”. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008, p.23).

Neste caso, a Segurança contra Incêndio no Brasil já havia deixado de aprender e apresentar soluções com incêndio semelhante ocorrido nas instalações da General Motors, em Michigan, EUA, que deixou quatro mortos e quinze pessoas gravemente feridas. As perdas materiais foram totais, especialmente pela incapacidade de penetrar na edificação devido à fumaça que tomou conta de todo o lugar.

Após o incêndio da Volkswagen, vale destacar os estudos iniciados para a implantação de sistemas de controle de fumaça, que somente começaram a ser realmente exigidos no Brasil a partir de 2001, na regulamentação do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo.

Em relação a prédios altos no Brasil, o primeiro incêndio de grandes proporções ocorreu em 24 de fevereiro de 1972, no edifício Andraus, na cidade de São Paulo, a cidade com mais prédios altos no Brasil e, por isso, a recordista em incêndios em edificações. (REVISTA Galileu, ed. 127, fev. 2002) (Figura 47)



Figura 47 – Incêndio no edifício Andraus, em 1972. São Paulo, Brasil.

Fonte: <http://segurancaemrisco.files.wordpress.com/2009/02/andraus-incendio.jpg>

Os primeiros andares inferiores do edifício Andraus, de 31 andares, pertencia à loja de departamentos Casa Pirani, sendo também ocupado por escritórios de empresas como a Petrobrás e a Companhia Adriática de Seguros, por exemplo.

Acredita-se que o fogo tenha começado nos cartazes de publicidade das Casas Pirani, colocados sobre a marquise do prédio. O saldo da tragédia foi de dezesseis pessoas mortas e trezentos e setenta e cinco pessoas<sup>38</sup>. A situação só não foi pior porque o edifício possuía um heliponto, de onde várias pessoas foram resgatadas.

---

<sup>38</sup> [www.bombeirosemergencia.com.br/cronologiabombeiro.htm](http://www.bombeirosemergencia.com.br/cronologiabombeiro.htm)

A única escada interna aberta não atendeu suficientemente a população, que teve que buscar outras alternativas de escape, como subir para a cobertura, até porque a escada se transformou num duto de fumaça (chaminé) e as pessoas não conseguiam descer. Os ocupantes do edifício não estavam preparados para qualquer tipo de emergência.

Depois do incêndio, o Andraus foi totalmente reformado. Ganhou parapeito de concreto para evitar que o fogo passe de um andar para outro, no caso de incêndio, escada externa, portas corta-fogo em todos os acessos às escadas, iluminação de emergência e gás encanado, além de treinamentos periódicos com a população do edifício. (Figura 48)



Figura 48 – Edifício Andraus após reforma. São Paulo, Brasil.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Edif%C3%ADcio\\_Andraus](http://pt.wikipedia.org/wiki/Edif%C3%ADcio_Andraus)

Dois anos depois, em primeiro de fevereiro de 1974, ocorrera outro grande incêndio na cidade de São Paulo, no Edifício Joelma. (Figura 49)



Figura 49 – Incêndio no Edifício Joelma, em 1974. São Paulo, Brasil.

Fonte:<http://saopauloegratis.files.wordpress.com/2009/05/11.jpg>

O edifício possuía vinte e cinco andares, com subsolo e térreo. Do primeiro ao décimo andar funcionava o estacionamento, e do décimo primeiro ao vigésimo quinto andar funcionavam os escritórios. De acordo com informações do Corpo de Bombeiros da localidade, o incêndio teve origem em um aparelho de ar condicionado no décimo segundo andar, onde provavelmente ocorreu um curto-circuito.

Este incêndio provocou cento e setenta e nove mortes e cerca de trezentos feridos. O decorrer da tragédia evidenciou o mesmo problema do Edifício Andraus: as escadas viraram dutos de fumaça, pois não eram escadas de segurança. E assim como o incêndio do Triangle Shirtwaist Factory, nos EUA, as pessoas se projetavam da fachada do prédio, provavelmente com medo do fogo e de morrerem asfixiadas pela fumaça. Cerca de quarenta pessoas morreram desta forma. (Figura 50)

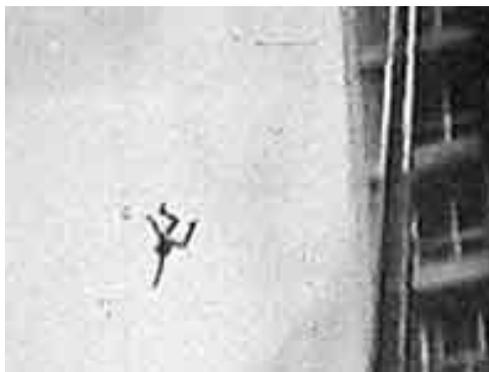


Figura 50 – Pessoas se projetando na fachada do Edifício Joelma durante o incêndio. São Paulo, Brasil.

Fonte: <http://sampacentro.terra.com.br/textos.asp?id=204&ph=11>

Diferentemente do Edifício Andraus, o Edifício Joelma não possuía heliponto, mas mesmo assim muitas pessoas foram até a cobertura com esperança de serem salvas. Muitas foram salvas, mas outras morreram sob os efeitos do intenso calor e fumaça. (Figuras 51)



Figura 51 – Resgate pela cobertura do edifício Joelma. São Paulo, Brasil.

Fonte: [www.bombeiroemergencia.com.br/joelma.htm](http://www.bombeiroemergencia.com.br/joelma.htm)

Muitas pessoas foram resgatadas graças à faixa vertical de banheiros que o prédio possuía. (Figura 52)



Figura 52 – Pessoas sendo resgatadas pelos bombeiros através dos banheiros do Edifício Joelma. São Paulo, Brasil.

Fonte: [www.bombeirosemergencia.com.br/joelma.htm](http://www.bombeirosemergencia.com.br/joelma.htm)

O edifício Joelma virou um enorme paredão de fumaça. E o incêndio só não se propagou aos edifícios vizinhos, devido o afastamento entre eles e à presença de ventos fortes no momento da tragédia. (Figura 53)



Figura 53 – A fumaça envolve todo o edifício Joelma. São Paulo, Brasil.

Fonte: [www.bombeirosemergencia.com.br/joelma.htm](http://www.bombeirosemergencia.com.br/joelma.htm)

Depois de reaberto, o edifício já sofreu pelo menos duas interdições, em 1981 e 1994. Em 1981, foi o técnico alemão Ernest Aquiles que denunciou seu precário sistema de proteção contra incêndios. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

Mais uma vez pode-se dizer do descaso com que o Brasil observou o mesmo tipo de incêndio que já havia ocorrido em outros países anteriormente. O que aconteceu após o incêndio do Edifício Joelma pareceu um despertar, uma percepção de que os grandes incêndios, com vítimas, até então distantes, passam a ser entendidos como fatos reais, que atingem a todos e que exigem mudanças. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

E foi em 1974 que se deu a publicação da primeira norma brasileira referente à saída de emergência pela ABNT, a NB-208: Saídas de emergência em edifícios altos, por meio do Comitê Brasileiro de Construção Civil.

E uma semana após o ocorrido no Edifício Joelma, a Prefeitura Municipal de São Paulo edita o Decreto Municipal nº 10.878, que “institui normas especiais para a segurança dos edifícios a serem observadas na elaboração do projeto, na execução, bem como no equipamento e dispõe ainda sobre sua aplicação em caráter prioritário”. Logo após as regras estabelecidas nessa regulamentação, são incorporadas na Lei nº 8.266 de 1975, o novo Código de Edificações para o Município de São Paulo. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

A primeira manifestação técnica ocorreu em março de 1974, com a realização do Simpósio de Segurança contra Incêndio, organizado pelo Clube de Engenharia do Rio de Janeiro, através de três linhas de desenvolvimento: como evitar incêndios, como combatê-los e como minimizar os efeitos. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

Em Brasília, em julho de 1974, na Câmara dos Deputados, a Comissão Espacial de Poluição Ambiental promoveu o Simpósio de Sistemas de Prevenção contra Incêndios em Edificações Urbanas, apresentando ao final, proposições, recomendações e solicitações. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

Além dos eventos, o Instituto de Engenharia de São Paulo também produziu um relatório sobre o incêndio no Edifício Joelma, indicando que haviam sido seguidas as normas vigentes e que elas deveriam ser aperfeiçoadas. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

Em 1975 ocorreu a reestruturação do Corpo de Bombeiros de São Paulo, quando se criou o Comando Estadual, enfatizando como principal missão: evitar incêndios, como recomenda a NFPA. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

Em 1976, ocorreu a regulamentação do Decreto-Lei nº. 247, que dispõe sobre Segurança contra Incêndio e Pânico no Rio de Janeiro. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

Na área de Segurança do Trabalho, em 1978, foi editada a Norma Regulamentadora nº. 23 (NR-23) – Proteção contra Incêndios, ação que fazia parte de uma reestruturação na área e na relação empregador/empregado. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

Avaliando os resultados das mudanças imediatas geradas, percebe-se que o principal causador das vítimas dos incêndios, ou seja, a existência de vias de escape inseguras, inadequadas, especialmente no caso dos prédios elevados, é imediatamente atacado com documentos que indicam como produzir essa via de escape de forma segura, principalmente no Decreto supracitado e com a edição da NB 208/74 da ABNT, que posteriormente se denominou NBR 9077 – Saídas de emergência em edifícios. (GILL; OLIVEIRA; NEGRISOLO, 2008)

## 2.4 SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM EDIFÍCIOS – NBR 9077, E O PROJETO DE ARQUITETURA

As normas e instruções relativas à segurança da vida em edificações têm papel significativo na segurança contra incêndio, pois descreve ações que beneficiam a saída segura pelos ocupantes de um edifício na ocorrência de alguma emergência, como o incêndio, por exemplo. As normas para edifícios altos são mais complexas por apresentarem maior número de variáveis a serem seguidas, e estão em constante reformulação.

Para se chegar ao que prescreve a NBR 9077 de 2001 da ABNT vigente, foi preciso passar por uma série de pesquisas.

Primeiramente, aprovou-se a NB-208 – Saídas de emergência em edifícios altos, em 1974, tal como descrito anteriormente.

Segundo Faillace (1991), a Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) foi contrária a aprovação da NB-208 na época, que entre outros motivos, verificaram algumas falhas.

Em 30 de dezembro de 1973, pela repercussão alcançada em um incêndio de edificação onde se situava uma filial das Lojas Americanas em Porto Alegre, provocou a constituição, pelo então prefeito, engenheiro Thompson Flores, de uma Comissão de alto nível de assessoramento para o estabelecimento de normas que visassem a prevenção de incêndios.

Esta comissão foi nomeada em 13 de fevereiro de 1974 (logo após o incêndio do edifício Joelma) e se reuniu pela primeira vez dois dias depois.

Em 14 de dezembro de 1976, por meio da Lei Complementar nº 28, criou-se a Comissão Consultiva para Proteção contra Incêndio (CCPI), com a mesma constituição da anterior, e que continuou seus trabalhos.

Um dos primeiros atos da CCPI foi a exigência da obrigatoriedade da NB-208 nas construções novas na cidade de Porto Alegre, em 21 de agosto de 1974. Foi a primeira cidade do Brasil a utilizar a norma.

A aplicação da norma naquela localidade mostrou a necessidade da mesma ser revisada, sendo prática usual da ABNT até os dias atuais. Em 18 de abril de 1980, o então Secretário Municipal de Obras e Viação, mais tarde Prefeito Municipal, engenheiro João Dib, oficiou ao professor Franklin J. Gross, Delegado Regional da ABNT, propondo uma revisão da norma, e sugerindo que esta revisão fosse feita por Comissão de Estudos (CE), sediada em Porto Alegre e baseada nos componentes da CCPI, devida à experiência destes no emprego da NBR-208.

A CE foi sediada na Escola de Engenharia da UFRGS, por ser presidida por um professor da mesma, tendo sido sua primeira reunião em 17 de julho de 1980.

A NB-208, então, foi revisada e encaminhada sua redação final à ABNT, a qual, votada e devidamente aprovada, tornou-se a NB-208/83. Encaminhada ao INMETRO para registro, foi publicada em 1985, como norma probatória, sob o número NBR 9077/1985.

A comissão de estudos então continuou seus trabalhos e, em outubro de 1990, apresentou o segundo projeto de revisão da NBR 9077/1985, recebendo a partir daí, informações de entidades interessadas e contribuições de um grupo de trabalho de São Paulo (muitas introduzidas na redação atual). Este novo projeto, entre outros vários pontos, altera o nome de Saídas de Emergência em Edifícios Altos para Saídas de Emergência em Edifícios.

Originária do projeto NB-208/1992, a NBR 9077/1993 é aprovada pela ABNT e veiculada.

A atual NBR 9077, ainda com o que prescreve a norma de 1993, sofreu o acréscimo de uma emenda de nº. 1, que exclui, inclui e altera informações sobre o uso do concreto armado ou protendido em construções relativas às saídas.

As maiores alterações ocorreram na revisão da norma do ano de 1993. É importante citar algumas diferenças entre as normas de 1985 e 1993. Deste modo, tem-se:

- o acréscimo de capítulo sobre rampas;
- as exigências sobre escadas não destinadas a saídas de emergência mas que possam funcionar eventualmente como tais;
- as exigências menores para prédios com população muito pequena;
- as exigências sobre escadas com lanços curvos e escadas helicoidais;
- a modificação das exigências sobre escadas protegidas;
- as exigências sobre escadas de emergência pressurizadas; e
- as exigências específicas maiores para locais de reunião de público, subsolos e edificações sem janelas, entre outras. (FAILLACE, 1991).

A NBR 9077/2001 está em fase de revisão. Alguns de seus estudos seriam a adaptação e inserção à norma da Instrução Técnica nº 11 – Saídas de Emergência em Edificações – do Corpo de Bombeiros de São Paulo, visto que a corporação possui grande número de instruções técnicas bem elaboradas e atualizadas.

Em seu item 1.4, a NBR 9077 fixa requisitos para edifícios novos, podendo, entretanto, servir como exemplo de situação ideal que deve ser buscada em adaptações de edificações em uso, consideradas suas devidas limitações.

As saídas de emergência em edifícios fazem parte das medidas de proteção passiva contra incêndio. Lembrando que a segurança contra incêndio é um objetivo a ser perseguido durante todas as etapas desenvolvidas no processo produtivo e uso do edifício. (BERTO, 1998)

Agem passivamente a situações de emergência por estarem incorporadas a edificação. Está relacionada aos meios de escape do edifício.

Estas saídas devem acontecer de forma rápida e segura, de qualquer ponto do edifício até um local seguro, normalmente representado por uma área livre e afastada do prédio.

O arquiteto exerce papel fundamental na provisão de saída de emergência em edifícios.

O projeto de arquitetura é de grande importância para uma saída de emergência bem projetada.

Segundo Ono (1996), o projeto de saídas de emergência deve considerar três características básicas: o movimento de evacuação, as características dos ocupantes e as características de uso e gerenciamento do edifício.

O movimento de evacuação é o movimento dos ocupantes de forma contínua do local que se encontra até um ponto seguro fora da edificação, subdividindo-se em quatro itens (ONO, 1996):

- a) evacuação da sala de origem do incêndio – todos os ocupantes devem deixar o ambiente de origem do incêndio antes que este seja todo dominado pela fumaça do incêndio. Para tanto, caso as saídas de uso normal sejam insuficientes, podem ser necessárias saídas adicionais/opcionais e/ou meios que retardem o acúmulo da fumaça no ambiente.

- b) evacuação do pavimento de origem do incêndio – todos os ocupantes do pavimento devem ser deslocados para um local seguro antes que a fumaça invada as rotas de fuga do pavimento. Dependendo da situação, o movimento se dará na horizontal, para cima ou para baixo, por portas e/ou escadas.
- c) evacuação de pavimentos superiores – para edificações de múltiplos pavimentos, edifícios altos, o projeto deve contemplar a segurança dos ocupantes dos pavimentos superiores, principalmente dos efeitos da fumaça e dos gases quentes. Quando necessário, deve-se dimensionar o projeto para evacuação faseada, em vez da evacuação total e simultânea. Neste caso, quanto mais alta a edificação, mais atenção deve ser dada na fase de elaboração do projeto.
- d) evacuação para pontos intermediários – para edifícios altos, com grande concentração de pessoas, onde a evacuação de pavimentos superiores pode demorar, pode-se propor áreas intermediárias para manter os ocupantes em local seguro temporariamente – as denominadas áreas de refúgio.

As características dos ocupantes (população fixa), bem como do público externo em geral (população flutuante), devem ser consideradas no projeto de saídas de emergência. As principais são: número de pessoas, idade, sexo e suas condições físicas e mentais, além da familiaridade com o edifício.

Em relação às características de uso e gerenciamento do edifício, cuidados especiais são exigidos para edifícios de hospedagem, onde, normalmente, o incêndio pode ser descoberto tardiamente. Edifícios com áreas de uso diferenciado e com níveis de risco de incêndio distintos devem possuir sistemas de proteção projetados separadamente, possuindo rotas de fuga também independentes. Edifícios com horário de expediente diferente, como também áreas ou andares com proprietários diferentes, deve-se resolver a questão das saídas de emergência através de um gerenciamento integrado e rotas de saídas independentes, se possível.

Todas estas características influem no projeto de saídas de emergência, além de que deve haver uma integração, considerando também influência da arquitetura e do sistema construtivo do edifício, os materiais de acabamento, decoração e mobiliário, e os equipamentos e sistemas de proteção contra incêndio. (ONO, 1998)

As rotas de saída são compostas, além da escada de emergência, no caso de edifícios verticalizados, do acesso à saída e a descarga, que se define como a porção da rota de fuga entre o término da saída e a via pública.

A compartimentação horizontal e vertical deve estar diretamente ligada às rotas de fuga e influenciam no movimento de saída das pessoas da edificação.

Algumas regras básicas de projeto para saídas de emergência devem ser consideradas pelos arquitetos e projetistas. Ono (1996) destaca:

- a) Garantia de duplicidade de rotas de saída: Evitar becos sem saída nos pavimentos, buscando por soluções nas extremidades dos corredores.
- b) A composição da rotas de saída: As rotas de saída devem ser claras e simples, evitando-se corredores tortuosos e escadas escondidas, e não devem ser totalmente dependentes das sinalizações de emergência e iluminação de balizamento. Além de bem dimensionadas, escadas devem estar bem distribuídas em planta.
- c) Determinação de áreas protegidas: Para edifícios altos, ou até mesmo com área de pavimento grande, onde o tempo para evacuação pode ser considerável, deve-se considerar a instalação de áreas seguras nos próprios pavimentos. A área de corredores pode ser projetada como área protegida de primeiro grau, antecedendo as antecâmaras (áreas protegidas de segundo grau) e as escadas (áreas protegidas de terceiro grau). As áreas protegidas devem ser providas de meios de garantia da segurança dos usuários adequados ao seu grau de proteção através de medidas para amenizar os efeitos do incêndio pela escolha de materiais, sistemas construtivos e equipamentos apropriados para sua composição.
- d) Reação dos ocupantes: O movimento de evacuação, idealmente, deve ser feito com calma, sem atropelos. O projeto deve considerar uma alteração no comportamento dos ocupantes numa situação de emergência. Preferencialmente, as rotas de saída devem coincidir com rotas de uso normal das pessoas.
- e) Cuidados especiais: Devem ser especialmente considerados os deficientes físicos, doentes, crianças e idosos pois não terão a mesma capacidade de deslocamento e decisão de um adulto normal. É importante elaborar um projeto especificamente para as necessidades dos ocupantes do prédio.

Os elevadores de segurança também podem ser previstos, em casos especificados em norma, ou até mesmo para garantir mais um meio de escape seguro no edifício.

Juntamente com os conhecimentos técnicos de engenheiros e instaladores, como também do conhecimento técnico e prático dos integrantes do Corpo de Bombeiros, forma-se um conjunto satisfatório capaz de minimizar ou excluir falhas de projeto e garantir, como ponto mais importante, a segurança das pessoas dentro do edifício em situação de emergência.

### 2.4.1 Escadas de emergência

Desde a elaboração da primeira norma de Saídas de Emergência, as escadas aparecem como ponto chave na saída segura dos ocupantes em edifícios altos.

A NBR 9077/2001 descreve quatro tipos de escadas, especificadas de acordo com a altura da edificação e área de maior população:

- Escadas comuns ou escada não enclausurada (NE);
- Escadas enclausuradas protegidas (EP);
- Escadas enclausuradas à prova de fumaça (PF); e
- Escadas à prova de fumaça pressurizadas (PFP).

As escadas comuns (NE), que possa fazer parte de uma rota de saída, são aquelas que comunicam diretamente com os demais ambientes, como corredores, *halls* e outros, em cada pavimento, tendo como característica a ausência de portas corta-fogo.

As escadas enclausuradas protegidas (EP) são escadas devidamente ventiladas situadas em ambiente envolvido por paredes corta-fogo e dotada de portas resistentes ao fogo.

A escada cuja caixa é envolvida por paredes corta-fogo e dotada de portas corta-fogo, cujo acesso é por antecâmara igualmente enclausurada ou local aberto, de modo a evitar fogo e fumaça em casos de incêndio, é chamada de “escada enclausurada à prova de fumaça”.

A condição de escada à prova de fumaça pode ser obtida pelo método de ventilação natural por meio de dutos ou por método de pressurização. Quando da utilização deste último, tem-se a escada enclausurada á prova de fumaça pressurizada<sup>39</sup>.

---

<sup>39</sup>A pressurização nada mais é que um método que “injeta” uma pressão interna dentro da escada maior que àquela em seu exterior impedindo a entrada de fumaça na caixa de escadas.

### 3 REVISÃO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM NA SAÍDA SEGURA DE PESSOAS EM EDIFÍCIOS: A VENTILAÇÃO NATURAL E A FUMAÇA DE INCÊNDIO

#### 3.1 A VENTILAÇÃO NATURAL OU A VENTILAÇÃO FORÇADA NO CONTROLE E COMBATE A INCÊNDIO

Um estudo sobre o uso da ventilação natural e da ventilação forçada no combate a incêndio foi peça fundamental para o desenvolvimento do objeto de estudo deste trabalho e para a definição de sua metodologia.

Este estudo, realizado pelo físico George Cajaty Barbosa Braga, Major do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), apresenta os benefícios e os riscos de se utilizar a ventilação natural e a ventilação forçada, ou por pressão positiva (*Positive Pressure Ventilation – PPV*), no combate a incêndio, com resultados obtidos através de simulações computacionais.

O compartimento escolhido por ele para realizar as pesquisas foi a Casa de Fumaça do Centro de Treinamento de Oficiais do CBMDF. (Figura 57)



Figura 54 – Casa de Fumaça – CTO/CBMDF.

Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

Para a realização dos testes, utilizaram-se aberturas em lugares diferentes da Casa de Fumaça para entrada de ar e saída de fumaça.

As primeiras simulações de incêndio<sup>40</sup> realizadas foram a partir da utilização da ventilação forçada.

A porta para saída da fumaça é aberta no lado esquerdo e acima (denominado Modo Correto) e no lado esquerdo e abaixo (denominado Modo Incorreto) com um minuto de simulação. As Figuras 55 e 56 representam o posicionamento das aberturas para saída da fumaça e para a entrada dos bombeiros.

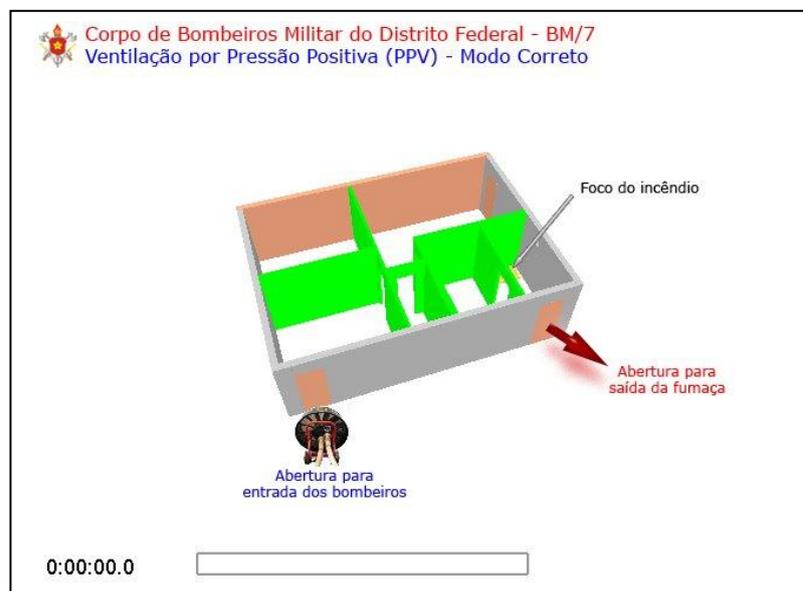


Figura 55 – Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo Correto.

Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

---

<sup>40</sup> Utilizou-se para a realização das simulações de incêndio o *software* FDS, o mesmo utilizado no desenvolvimento do presente estudo. Vide capítulo 4.



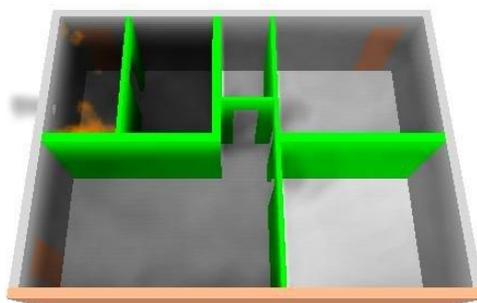
Figura 56 – Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo Incorreto.  
Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

É possível notar que no Modo Correto, a abertura para saída da fumaça está no ambiente do foco de incêndio, e ainda, esta abertura está na mesma lateral da abertura de entrada (unilateral).

A seguir, estão as imagens produzidas a partir da seqüência da simulação de acordo com o tempo de incêndio. Para melhor visualização das imagens, a planta da Casa de Fumaça foi girada para as portas ficarem na parte inferior.

As Figuras 57 e 58 representam a simulação no primeiro minuto de incêndio. Nesta ocasião, as portas ainda não estão abertas.

Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – EMG – BM/7  
Ventilacao por pressao positiva – Modo Correto

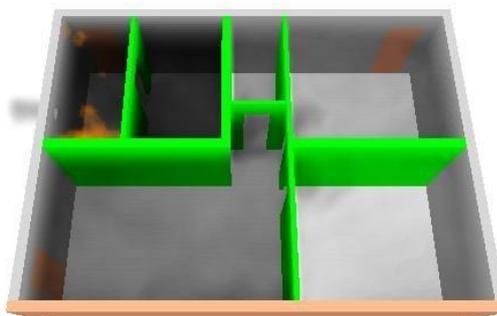


0:01:00.0 

Figura 57 – Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo Correto – 1:00 minuto.

Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – EMG – BM/7  
Ventilacao por pressao positiva – Modo Incorreto



0:01:00.0 

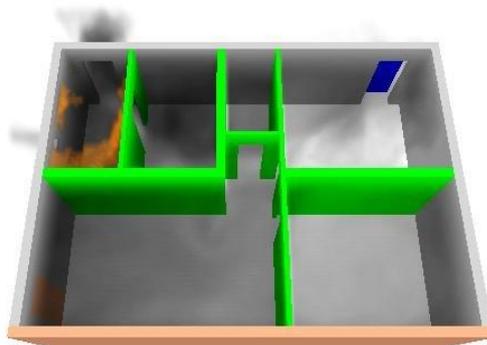
Figura 58 – Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo Incorreto – 1:00 minuto.

Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

Cinco segundos depois, a porta de entrada do ar é aberta (no lado direito acima, para ambos os casos), sendo que o ventilador demora mais cinco segundos para atingir a sua potência máxima (fluxo de ar de aproximadamente 6,64 m<sup>3</sup>/s).

As Figuras 59 e 60 representam 1 minuto e 12 segundos de incêndio nos modos correto e incorreto. Aqui, as portas foram abertas e no início do fluxo máximo de ventilação.

Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – EMG – BM/7  
Ventilacao por pressao positiva – Modo Correto

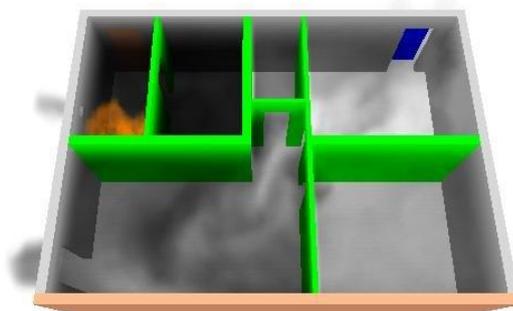


0:01:12.0



Figura 59 – Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo correto – 1 minuto e 12 segundos.  
Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – EMG – BM/7  
Ventilacao por pressao positiva – Modo Incorreto



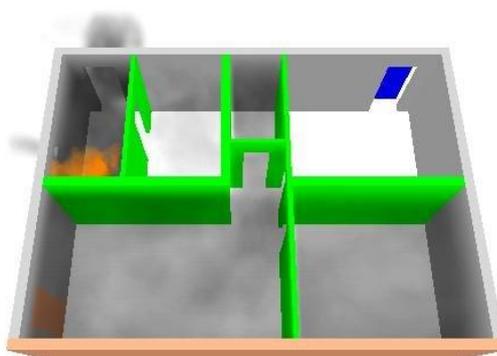
0:01:12.0



Figura 60 – Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo incorreto – 1 minuto e 12 segundos.  
Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

As figuras 61 e 62 representam o incêndio no tempo de 2 minutos, com 55 segundos de fluxo máximo de ventilação.

Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – EMG – BM/7  
Ventilacao por pressao positiva – Modo Correto

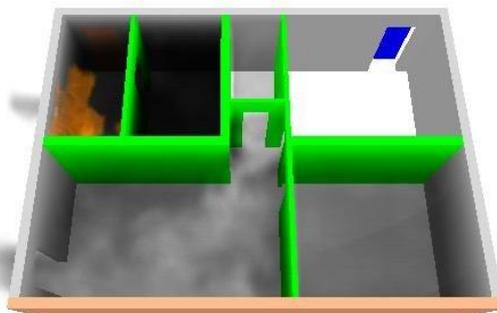


0:02:00.0



Figura 61 – Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo Correto – 2 minutos.  
Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – EMG – BM/7  
Ventilacao por pressao positiva – Modo Incorreto



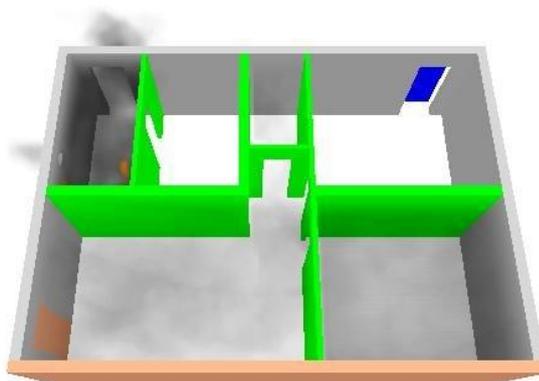
0:02:00.0



Figura 62 – Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo incorreto – 2 minutos.  
Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

As Figuras 63 e 64 representam a movimentação de fumaça em 4 minutos de incêndio. Conseqüentemente, são 2 minutos e 55 segundos de fluxo máximo de ventilação.

Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – EMG – BM/7  
Ventilacao por pressao positiva – Modo Correto

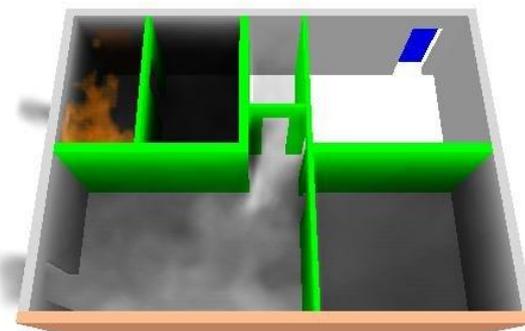


0:04:00.0

Figura 63 – Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo correto – 4 minutos.

Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – EMG – BM/7  
Ventilacao por pressao positiva – Modo Incorreto



0:04:00.0

Figura 64– Simulação por ventilação forçada (PPV) – Modo incorreto – 4 minutos.

Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

Outras simulações foram realizadas utilizando-se da ventilação natural, isto é, sem a utilização do ventilador. O local, o foco de incêndio e as aberturas são os mesmos.

E da mesma forma que as simulações por ventilação forçada, em um caso, a abertura de saída de ar é unilateral à abertura de entrada de ar (modo correto), e em outro, a abertura de saída de ar é cruzada em relação à abertura de entrada de ar - ventilação cruzada (modo incorreto).

Não se pode esquecer que, no primeiro caso, a abertura de saída de ar é no ambiente do foco de incêndio.

Com um minuto de incêndio as portas ainda estavam fechadas. (Figuras 65 e 66)

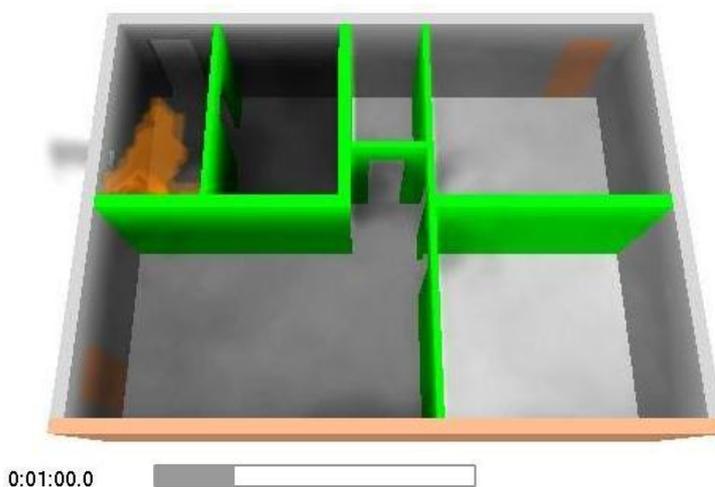


Figura 65 – Simulação por ventilação natural – Modo correto – 1:00 minuto.

Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

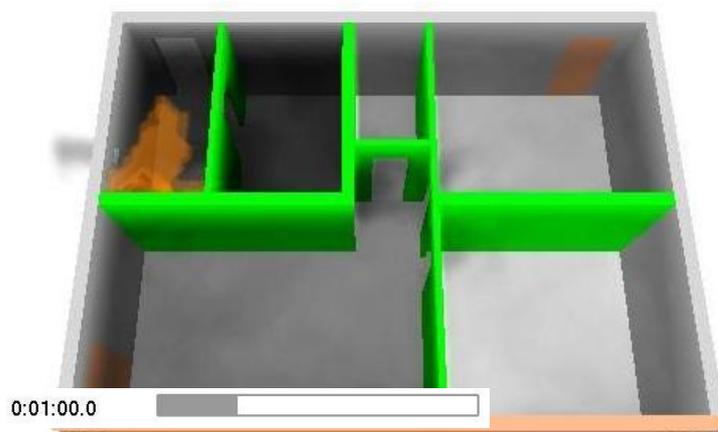


Figura 66 – Simulação por ventilação natural – Modo incorreto – 1:00 minuto.  
Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

Nas Figuras 67 e 68, o tempo de simulação é de 1 minuto e 12 segundos. As portas foram abertas e o fluxo de ventilação natural é máximo.

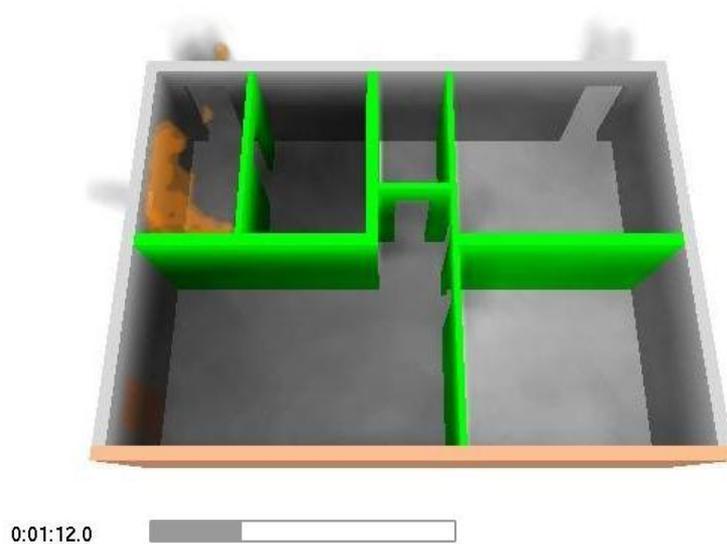


Figura 67 – Simulação por ventilação natural unilateral – 1 minuto e 12 segundos.  
Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

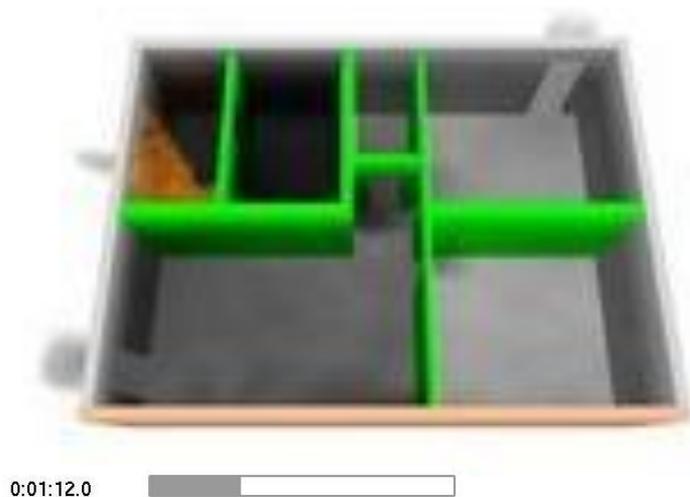


Figura 68 – Simulação por ventilação natural cruzada – 1 minuto e 12 segundos.

Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

No tempo de 2 minutos, são 55 segundos de fluxo máximo de ventilação.  
(Figuras 69 e 70)

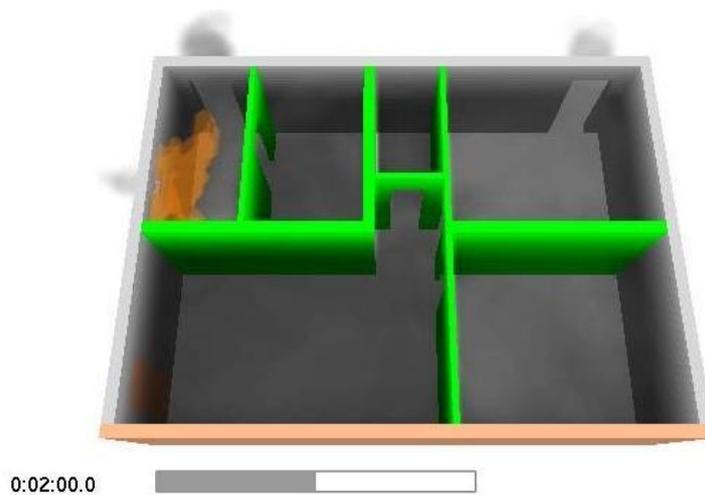


Figura 69 – Simulação por ventilação natural unilateral – 2 minutos.

Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.



Figura 70 – Simulação por ventilação natural cruzada – 2 minutos.

Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

As Figuras 71 e 72 mostram o que acontece com 4 minutos de incêndio utilizando a ventilação natural. São 2 minutos e 55 segundos de fluxo máximo de ventilação.

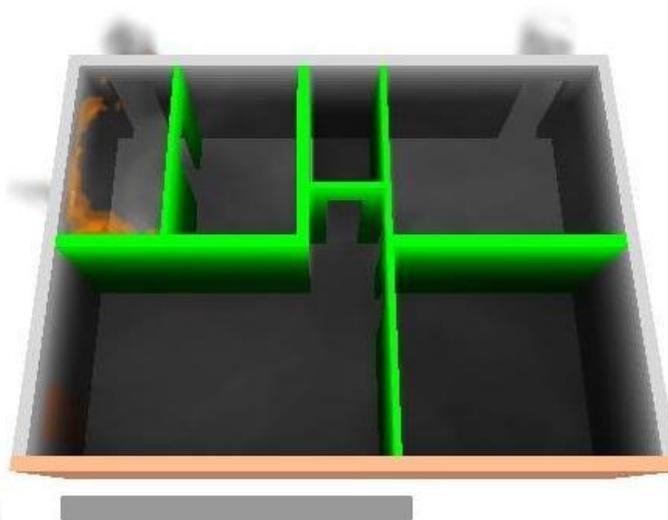


Figura 71 – Simulação por ventilação natural unilateral – 4 minutos.

Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.



Figura 72 – Simulação por ventilação natural cruzada – 4 minutos.

Fonte: Arquivo pessoal de George Braga.

Conforme observações do autor, é importante notar que por esta visão superior (em planta), a diferença entre a abertura unilateral e a cruzada parece ser muito pequena. Comparando ainda com as imagens da situação quando da utilização da ventilação forçada, pode-se pensar que a ventilação natural é a pior opção em todos os casos, o que não é verdade. A pior situação possível para os bombeiros é quando é utilizada a ventilação forçada de forma incorreta, pois acarreta uma forte turbulência da camada de fumaça em todo ambiente, fazendo com que a temperatura seja maior em todo ambiente, não apenas na parte superior dele.

O autor ainda faz um paralelo com as condições de evacuação segura de ocupantes do edifício quando acontece um incêndio e a ventilação forçada ou natural é inerente a ele. Utilizando-se de uma ventilação forçada mal aplicada isso pode trazer sérios riscos aos ocupantes em situação de fuga. O local pode ser tomado pela fumaça muito rapidamente dificultando a visibilidade, retardando o tempo de saída e até mesmo impedindo que todos saiam ilesos aos efeitos da fumaça.

Se tais situações forem colocadas em uma ordem de melhor para pior, esta ordem seria:

- 1) Utilização de ventilação forçada unilateral (modo correto);
- 2) Utilização de ventilação natural unilateral (modo correto);
- 3) Utilização de ventilação natural cruzada (modo incorreto); e
- 4) Utilização de ventilação forçada cruzada (modo incorreto).

Levando-se em consideração a ordem determinada pelo estudo anteriormente apresentado e, comparando-se com as estratégias da Arquitetura Sustentável, apresentadas no Capítulo 1, a aplicação da ventilação cruzada para o conforto deve ser buscada em projeto.

É importante lembrar que a ventilação corresponde a uma estratégia de resfriamento natural do ambiente construído através da substituição do ar interno (mais quente) pelo externo (mais frio). Esta estratégia tem relação direta com a umidade do ar e a temperatura. As soluções arquitetônicas comumente utilizadas são ventilação cruzada. A Figura 73 representa a ventilação cruzada e a estratégia de resfriamento aproveitando-se da umidade gerada pela fonte de água.

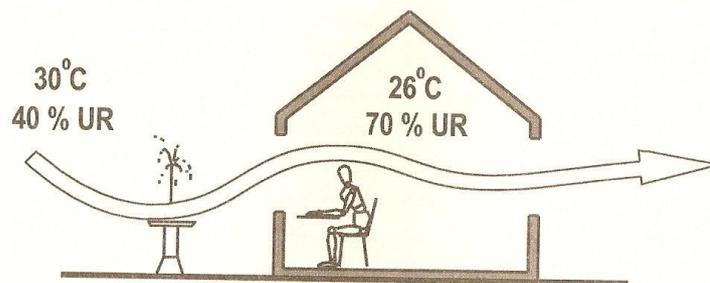


Figura 73 – Exemplo ilustrativo da ventilação cruzada.

Fonte: Corbella e Yannas, 2003.

Para um melhor entendimento, faz-se necessário explicar que uma pessoa está confortável com relação a um acontecimento ou fenômeno quando pode observá-lo ou senti-lo sem preocupação ou incômodo.

E ainda, o ser humano produz calor no seu interior que, em parte, dissipa para o meio ambiente (por condução, por convecção, por radiação e pela evaporação da água produzida por transpiração).

O calor é uma das manifestações de energia. Calor é energia em forma térmica (medido em Joule, kilocalorias ou kilowatthora, e, no caso de ar-condicionado, mede-se em BTU).

Quando se fornece calor a um corpo, este aumenta a temperatura. Esta última é um índice, uma indicação relativa (graus). Pode ser medida em Celsius (°C), Xxx (°F) ou Kelvin.

A transferência de energia térmica, isto é, a transferência de calor, dar-se-á do corpo de temperatura mais alta para o de temperatura mais baixa.

Existem três tipos de calor: o calor específico – é a quantidade de calor fornecido a um kg de material, para aumentar a sua temperatura a um grau, existindo um número diferente para cada material; o calor sensível – o instrumento sensitivo (a pele) percebe uma mudança quando a temperatura aumenta ou diminui; e o calor latente – quando existem casos nos quais repassa-se calor e a temperatura permanece constante, mas serve para transformar o estado no qual se encontra a matéria.

A mudança de estado de água, isto é, do líquido, para o vapor, é o que acontece quando se transpira, e a transpiração se evapora sobre a pele. O processo de evaporação da transpiração consegue retirar muito calor da pele, diminuindo muito a sua temperatura.

Uma gota de água se evaporará tanto mais rapidamente quanto maior a temperatura e menor a umidade relativa do ar. Este fenômeno é utilizado nas regiões secas e quentes para esfriar o ar e se chama “resfriamento evaporativo” (estratégia utilizada para aumentar a umidade relativa do ar e diminuir a sua temperatura). É importante lembrar que, conforme a carta bioclimática de Givoni (1992), a sensação de conforto térmico pode ser obtida para umidade relativa do ar variando de 20 a 80% e temperatura entre 18°C e 29°C.

A exposição da pele ao ar, variando sua velocidade (brisa ou ar movimentado por ventilador), mas não sua temperatura, produz sensações térmicas diferentes. A sensação da temperatura depende de quão rapidamente se retira calor ou se entrega calor a pele, mais do que a temperatura do ar indicada por um termômetro.

Quando há presença de fluidos (ar ou água), ocorre a transferência de energia térmica por convecção.

A troca de calor por convecção aumenta se for induzida pelo vento ou por meios mecânicos, denominando-se “convecção forçada”<sup>41</sup>.

É importante destacar que, para se sentir conforto térmico, a temperatura e a umidade do ar no ambiente devem estar propícias para tal.

A ventilação, seja ela natural ou forçada, pode ser uma grande aliada ou uma grande inimiga no controle de incêndio, pois tem a capacidade de direcionar a fumaça para onde se deseja. Tudo depende principalmente da escolha correta da saída da fumaça e da entrada do ar, pois o percurso da fumaça se dará entre esses dois pontos, como destacado anteriormente. Isto é, não necessariamente a ventilação natural irá aumentar a propagação, depende para onde está sendo levada a fumaça de incêndio.

### **3.1.1 A fumaça de incêndio**

A fumaça é um dos produtos do incêndio. A maioria das pessoas presentes no edifício numa situação de incêndio morre mais pela inalação de gases tóxicos provocados pela combustão do que queimadas pelo fogo. (MELO, 1999)

A fumaça é a mistura de gases, vapores e partículas sólidas finamente divididas. Sua composição química é altamente complexa, assim como o mecanismo de formação. Sua presença pode ser percebida visualmente ou pelo odor. (MELO, 1999)

---

<sup>41</sup> A troca de calor por convecção sem a presença de vento é chamada “convecção natural”. (CORBELLA; YANNAS, 2003)

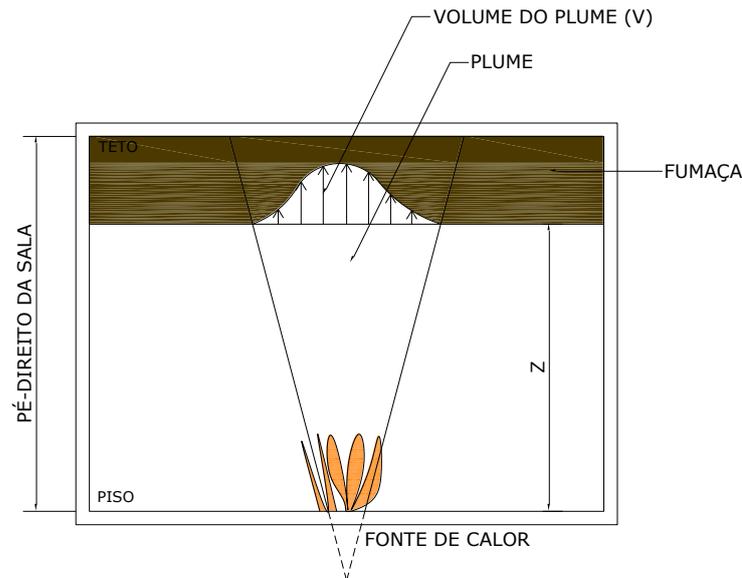
Segundo Kato e Seito (1988), verificando algumas estatísticas no mundo, observa-se que a fumaça é a causadora de 80% ou mais de vítimas fatais em incêndios. É o produto da combustão que mais afeta, de várias maneiras, as pessoas por ocasião de abandono da edificação.

Vale ressaltar as características da fumaça apresentadas na introdução desta pesquisa: opaca, tóxica, móvel, quente e inflamável (porque possui subprodutos da queima capazes de reagir com o oxigênio e queimar). Dentro destas características, a fumaça aumenta a palpitação devido à presença de gás carbônico, e o efeito tóxico de seus componentes debilita a movimentação das pessoas, além de tirar a visibilidade das rotas de fuga, provocar o pânico por ocupar grande volume no ambiente, causando lacrimejamento, tosses e sufocação.

A fumaça gerada como resultado da combustão, possui uma temperatura maior do que a temperatura ambiente e, portanto, uma força de flutuação a faz propagar-se dentro do edifício. Devido a tal força, a velocidade de propagação da fumaça no sentido vertical é maior do que no sentido horizontal e quanto maior for a diferença de temperatura, maior será a velocidade de propagação.

Quando se consegue determinar os valores de densidade ótica da fumaça e da toxicidade na saída de um ambiente sinistrado, pode-se estudar o movimento do fluxo de ar quente e, então, será possível determinar o tempo e a área do edifício que se tornará perigosa, devido à propagação da fumaça.

A fumaça gerada por uma fonte de calor (material em combustão) flui no sentido ascendente com formato de cone invertido. “Plume” é o nome dado a esta figura. (KATO; SEITO, 1988) (Figura 74)



Onde:  $Z$  = distância entre a fonte de calor e o ponto da base do “plume” sobre o eixo vertical.

Figura 74 - Formação da camada de fumaça em um ambiente enclausurado.

Fonte: Kato e Seito, 1988.

Se o volume  $V$  de fumaça se propagar em pouco tempo por toda a extensão do forro, e se fizermos com que a taxa de desenvolvimento de calor de uma fonte seja uma função de tempo, o cálculo do valor de  $Z$  pode ser obtido em função do tempo, resolvendo esta equação diferencial. Isto permitirá determinar o tempo necessário para evacuar o ambiente, antes que a fumaça atinja a altura de um homem. (KATO; SEITO, 1988)

Através da pesquisa de Kato e Seito (1988), verificou-se que, quanto mais a fumaça se alastrar, menor será a espessura de sua camada, e que a velocidade de propagação da fumaça na direção horizontal, no caso de corredores, estará em torno de 1m/s, e na direção vertical, no caso de escadas, estará entre 2m/s e 3m/s.

Percebe-se que a trajetória da fumaça dentro do edifício está diretamente ligada à sua compartimentação (horizontal ou vertical, como corredores, dutos, entre outros). Tal compartimentação é, em sua maioria, definida na fase de projeto de arquitetura.

Aliada a compartimentação do edifício, está a definição, também em projeto, das aberturas, como janelas e portas e, assim, considera-se a quantidade e a velocidade do ar (vento) que penetra no edifício, relacionado ao local no qual encontra-se implantado.

A Tabela 3 descreve o número de vítimas fatais por queimaduras e por inalação da fumaça de incêndio entre os anos de 1979 e 1992.

Tabela 3 – Queimaduras x Inalação da fumaça – Vítimas Fatais (1979-1992).

ANO	VÍTIMAS FATAIS					
	TOTAL	INALAÇÃO DE FUMAÇA		QUEIMADURA		OUTROS
1979	5.998	3.515	58,6%	2.262	37,7%	221 (3,7%)
1980	5.822	3.515	60,4%	2.079	35,7%	228 (3,9%)
1981	5.697	3.501	61,4%	2.048	35,9%	148 (2,6%)
1982	5.210	3.396	65,2%	1.683	32,3%	130 (2,5%)
1983	5.039	3.245	64,4%	1.654	32,8%	140 (2,8%)
1984	5.022	3.277	65,2%	1.625	32,4%	121 (2,4%)
1985	4.952	3.311	66,9%	1.498	30,3%	143 (2,9%)
1986	4.835	3.328	68,8%	1.415	29,3%	92 (1,9%)
1987	4.710	3.307	70,2%	1.301	27,6%	102 (2,2%)
1988	4.965	3.480	70,1%	1.378	27,8%	106 (2,1%)
1989	4.723	3.308	70,0%	1.311	27,8%	103 (2,2%)
1990	4.181	2.986	71,4%	1.138	27,2%	57 (1,4%)
1991	4.126	2.977	72,2%	1.078	26,1%	70 (1,7%)
1992	3.966	2.866	72,3%	995	25,1%	105 (2,6%)

Fonte: NFPA Journal, Nov./Dez. 1996.

Observa-se que o número total de vítimas decresceu ao longo dos anos, porém, o percentual de vítimas fatais por inalação da fumaça apresentou um acréscimo significativo. (MITIDIERI, 2008)

Os avanços na área de segurança contra incêndio nos Estados Unidos da América (EUA) são crescentes. Pode-se associar o decréscimo no número de vítimas fatais a esse desenvolvimento, quer por implementações normativas e/ou legislativas, quer pela conscientização da população. (MITIDIERI, 2008)

Observa-se também que, em 1992, o número de mortos por inalação de fumaça atingiu valor próximo a  $\frac{3}{4}$  do número total de mortos ocorridos em incêndios. (MITIDIARI, 2008)

Pode-se também considerar que o aumento do número de vítimas por inalação está ligado ao grande volume de novos materiais sintéticos inseridos nas edificações, seja na forma de objetos de decoração (sofás, poltronas, colchões, tecidos), ou como materiais de acabamento incorporados à edificação (materiais de revestimentos de paredes, teto e pisos). (MITIDIARI, 2008)

### **3.1.1.1 Gases tóxicos mais comuns no incêndio e seus efeitos**

O desenvolvimento da fumaça e gases tóxicos está presente durante todas as fases de um incêndio e, dependendo das condições em que a combustão dos materiais se processa, poderão ser desenvolvidas diversas substâncias, nas mais variadas concentrações. (MITIDIARI, 2008)

A toxicidade da fumaça depende das substâncias gasosas que a compõe. Segundo Seito (2008), as mais comuns são:

- a) monóxido de carbono - CO: é encontrado em todos os incêndios e é resultado da combustão incompleta dos materiais combustíveis a base de carbono, como a madeira, tecidos, plásticos, líquidos inflamáveis, gases combustíveis, etc. O efeito tóxico deste gás é a asfixia, pois ele substitui o oxigênio no processo de oxigenação do cérebro efetuado pela hemoglobina. A hemoglobina é o componente do sangue responsável pela oxigenação das células do corpo humano. Ela fixa o oxigênio no pulmão formando o composto denominado oxihemoglobina. Quando o oxigênio é substituído pelo monóxido de carbono, o composto formado é o carboxihemoglobina que provoca a asfixia do cérebro pela falta de oxigênio. Esse é um processo reversível, porém lento, portanto, quando as pessoas forem afetadas por este gás é fundamental que elas recebam muito oxigênio e fiquem em repouso. A anóxia produzida pelo monóxido de carbono não cessa pela respiração do ar fresco, como no caso dos asfixiantes simples. Após moderado grau de exposição, somente em torno de 50% do monóxido de carbono inalado é eliminado na primeira hora em circunstâncias ordinárias e sua eliminação completa leva algumas horas quando se respira ar fresco. A concentração máxima de monóxido de carbono que uma pessoa pode se expor sem sentir seu efeito é de 50 ppm (parte por milhão) ou 0,005%, em volume no ar. Acima deste nível aparecem sintomas como dor de cabeça, fadiga e tonturas.

- b) gás carbônico -  $\text{CO}_2$ : é encontrado também em todos os incêndios e é resultado da combustão completa dos materiais combustíveis a base de carbono. A toxicidade do gás carbônico é discutível. Algumas publicações não o citam como gás tóxico, dizem que o mal-estar é devido à diminuição da concentração de oxigênio pela presença dele no ambiente, enquanto outras dizem ser tóxico. Entretanto, como efeito nas pessoas que inalam o gás carbônico foi verificado que a respiração é estimulada, os pulmões dilatam-se e aumenta a aceleração cardíaca. O estímulo é pronunciado na concentração de 5% e após a exposição de 30 min produzem sinais de intoxicação; acima de 7% ocorre a inconsciência pela exposição de alguns minutos. O limite tolerável pelas pessoas é em torno de 5.000 ppm ou 0,5% em volume no ar.
- c) gás cianídrico, cianeto ou cianureto de hidrogênio -  $\text{HCN}$ : é produzido quando materiais que contêm nitrogênio em sua estrutura molecular sofrem a decomposição térmica. Materiais mais comuns que produzem o gás cianídrico na sua queima são: seda, náilon, orlon, poliuretano, uréia-formoldeido, acrilonitrila, butadieno e estireno. O gás cianídrico e outros compostos cianógenos bloqueiam a atividade de todas as formas de seres vivos. Eles exercem uma ação inibidora de oxigenação nas células vivas do corpo.
- d) gás clorídrico -  $\text{HCl}$ : é um gás da família dos halogenados; os outros são  $\text{HBr}$  (gás bromídrico),  $\text{HF}$  (gás fluorídrico) e  $\text{HI}$  (gás iodídrico). O cloro é o halogênio utilizado para inibir o fogo nos materiais sintéticos, sendo comum encontrá-lo nas estruturas dos diversos materiais de construção que sejam feitos de PVC - cloreto de polivinil. Seu efeito é lesar a mucosa do aparelho respiratório, em forma de ácido clorídrico (gás clorídrico + umidade da mucosa), provocando irritação quando a concentração é pequena, tosse e ânsia de vômito em concentrações maiores e finalmente lesão seguido de infecção.
- e) óxidos de nitrogênio -  $\text{NOx}$ : uma grande variedade de óxidos, óxi-ácidos e óxi-anions, correspondentes aos estados de oxidação do nitrogênio de +1 a +5, pode ser formada num incêndio. As suas formas mais comuns são: monóxido de dinitrogênio ( $\text{N}_2\text{O}$ ); óxido de nitrogênio ( $\text{NO}$ ); dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) e tetróxido de dinitrogênio ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ). O óxido de nitrogênio não é encontrado livre na atmosfera porque é muito reativo com o oxigênio formando o dióxido de nitrogênio. Esses componentes são bastante irritantes inicialmente; em seguida, tornam-se anestésicos e atacam particularmente o aparelho respiratório, onde forma os ácidos nitroso e nítrico, em contato com a umidade da mucosa. Esses óxidos são produzidos, principalmente, pela queima de nitrato de celulose e decomposição dos nitratos inorgânicos.
- f) gás sulfídrico -  $\text{H}_2\text{S}$ : é um gás muito comum no incêndio e é produzido na queima de madeira, alimentos, gorduras e produtos que contenham enxofre. Seu efeito tóxico sobre o homem é a paralisação do sistema respiratório e dano ao sistema nervoso.
- g) gás oxigênio -  $\text{O}_2$ : o consumo do oxigênio na combustão dos materiais diminui a concentração desse gás no ambiente e é um dos fatores de risco à vida das pessoas.

Outros gases que são encontrados na fumaça: dióxido de enxofre - SO<sub>2</sub>, acrilonitrila - CH<sub>2</sub>CHCN, formaldeído – HCHO, fogsene – COCl, etc. (SEITO, 2008)

Portanto, a exposição à fumaça provoca riscos à vida, que em geral, afeta a visibilidade das pessoas, limitando suas atividades e podendo causar mortes.

O controle da fumaça em edifícios deve ser alvo de busca constante. O objetivo principal do estudo do controle da fumaça dentro do edifício é prover meios que impeçam o contato das pessoas com a ação nociva da fumaça; e isto envolve alterações em códigos e legislações, principalmente relacionadas às rotas de fuga<sup>42</sup> e escadas de emergência, considerando o aspecto mais importante: a proteção da vida.

Segundo Seito (1995), poucos países do mundo têm em seus códigos de edificações ou na de segurança contra incêndio capítulos que tratam da problemática da fumaça produzida pelos materiais utilizados na edificação. Mesmo que isso, felizmente, já seja um assunto largamente estudado e esclarecido.

### **3.1.2 Instrução Técnica (IT) n°. 15 – Controle de Fumaça**

O Corpo de Bombeiros Militar do Estado de São Paulo (CBMESP) possui instruções técnicas que são utilizadas para aprovação de projetos naquele estado da Federação. Estas instruções técnicas são desenvolvidas por diversos especialistas no assunto e servem como referência nacional na aplicação da segurança contra incêndio em outras diversas cidades.

A IT n°15 se aplica ao controle de fumaça dos “átrios, *malls*, subsolos, espaços amplos e rotas horizontais”, visando:

- a) a manutenção de um ambiente seguro nas edificações, durante o tempo necessário para abandono do local sinistrado, evitando os perigos da intoxicação e falta de visibilidade pela fumaça;

---

<sup>42</sup> A rota de fuga está diretamente ligada ao movimento de evacuação das pessoas em um edifício e é composta por três partes distintas: o acesso à saída, a saída em si e a descarga, como descrito no Capítulo 2. A saída em si, diferentemente das outras partes, é separada por paredes, portas, piso e outros elementos que possuem características de desempenho ao fogo e que protegem os ocupantes dos efeitos do incêndio.

- b) ao controle e redução da propagação de gases quentes e fumaça entre a área incendiada e áreas adjacentes, baixando a temperatura interna e limitando a propagação do incêndio;
- c) a prevenção de condições dentro e fora da área incendiada, que irão auxiliar nas operações de busca e resgate de pessoas, localização e controle do incêndio.

O item 4.1.2 da IT 15 determina que as edificações devem ser dotadas de meios de controle de fumaça que promovam a extração (mecânica ou natural) dos gases e da fumaça do local de origem do incêndio, controlando a entrada de ar (ventilação) e prevenindo a migração de fumaça e gases quentes para as áreas adjacentes não sinistradas.

A extração adequada da fumaça, seja ela natural ou mecânica, não deve permitir a criação de zonas mortas onde a fumaça pode ficar acumulada, após o sistema entrar em funcionamento. (Figura 75)

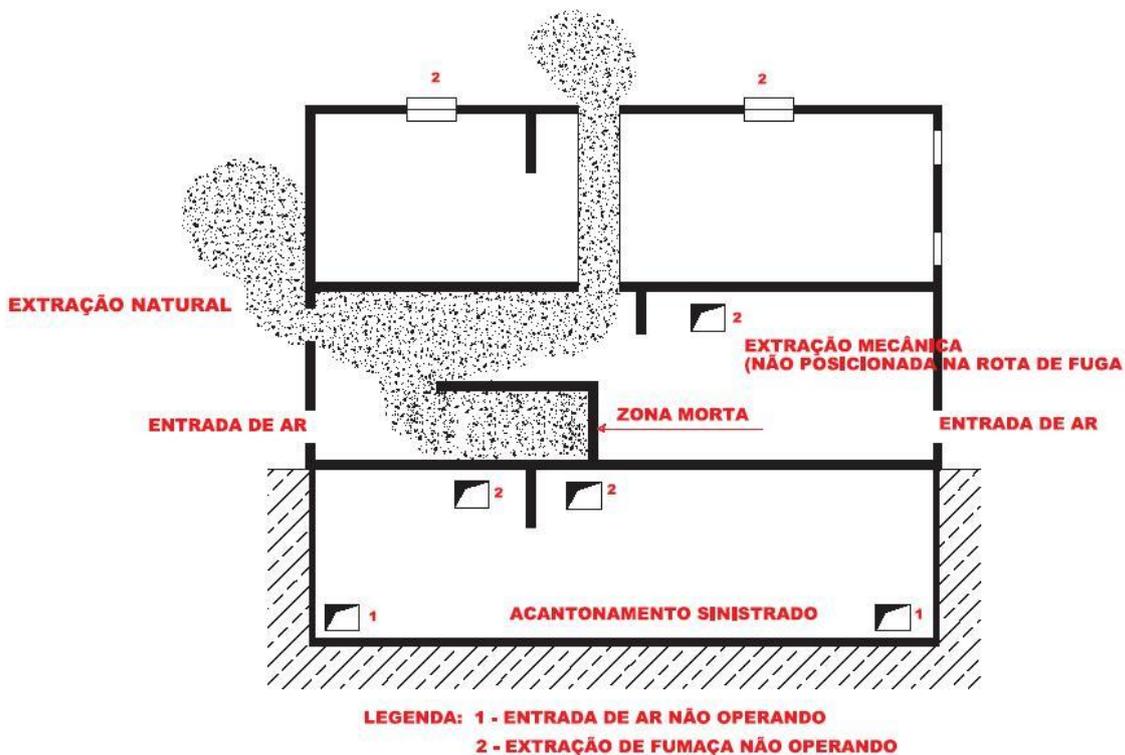


Figura 75 – Aplicação adequada da extração da fumaça em um edifício.

Fonte: Item 4.1.3. da IT 15 – Controle de fumaça (CBMESP).

Outro item importante é a permissão de um diferencial de pressão, por meio do controle das aberturas de extração de fumaça da zona sinistrada, e fechamento das aberturas de extração de fumaça das demais áreas adjacentes à zona sinistrada, conduzindo a fumaça para as saídas externas ao edifício. (Figura 76)

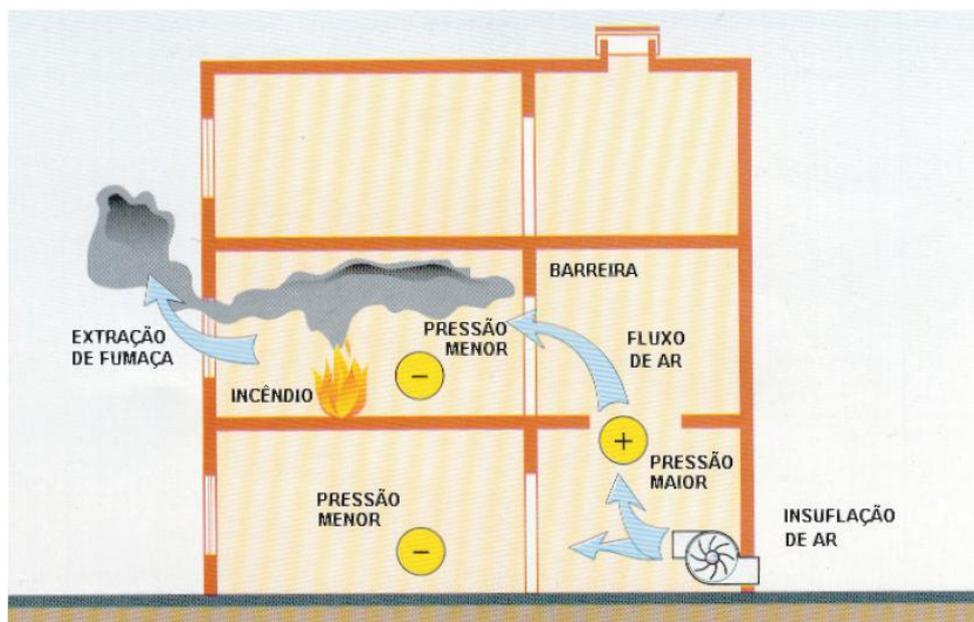


Figura 76 – Controle de aberturas para extração da fumaça dentro do ambiente sinistrado.

Fonte: IT15 – Controle de fumaça (CMBESP)

O controle de fumaça é obtido pela introdução de ar limpo e pela extração de fumaça, pelos tipos de sistemas apresentados na Quadro 4.

Quadro 4 – Introdução de ar limpo e extração de fumaça (em edifícios).

INTRODUÇÃO DE AR LIMPO	EXTRAÇÃO DE FUMAÇA
Natural	Natural
Natural	Mecânica
Mecânica	Natural
Mecânica	Mecânica

Fonte: IT15 – Controle de fumaça (CMBESP)

A Instrução Técnica nº. 15 também descreve os sistemas de extração da fumaça (natural ou mecânica). (Quadro 5)

Quadro 5 – Sistemas de extração de fumaça, natural e mecânica.

SISTEMA DE EXTRAÇÃO NATURAL	SISTEMA DE EXTRAÇÃO MECÂNICA
<b>ENTRADA DE AR</b>	
Aberturas de entrada localizadas nas fachadas	Abertura ou vão de entrada
Pelas portas dos locais a extrair fumaça, localizadas nas fachadas	Pelas portas
Pelos vãos das escadas abertas	Pelas escadas protegidas ou não
Abertura de ar por insuflação mecânica por meio de grelhas e venezianas	Abertura de ar por insuflação mecânica por meio de grelhas
	Escadas pressurizadas
<b>EXTRAÇÃO DE AR</b>	
Abertura ou vão	Grelha de extração de fumaça em dutos
Janela ou veneziana de extração	Duto e peças especiais
Grelhas ligadas a dutos	Registro corta-fogo e fumaça
Clarabóia ou alçapão de extração	Ventiladores de extração mecânica de fumaça
Dutos e peças especiais	
Registros corta-fogo e fumaça	Mecanismos elétricos, pneumáticos e mecânicos e acionamento dos dispositivos de extração de fumaça.
Mecanismos elétricos, pneumáticos e mecânicos e acionamento dos dispositivos de extração de fumaça.	

Fonte: IT 15 – Corpo de Bombeiros de São Paulo

Outro ponto importante nesta Instrução Técnica é o uso de átrios para extração de fumaça. O efeito chaminé é um fluxo de ar vertical dentro das edificações, causado pela diferença de temperatura interna e externa, e o átrio possibilita esse efeito.

Os átrios são classificados de acordo com o quadro a seguir.

Quadro 6 – Classificação dos átrios, conforme IT 15.

Quanto à comunicação com o exterior	Quanto à padronização
<p style="text-align: center;">Átrios abertos</p> <p style="text-align: center;">Átrios cobertos abertos</p> <p style="text-align: center;">Átrios cobertos fechados</p>	<p style="text-align: center;">Átrio padronizado</p> <p style="text-align: center;">Átrio não-padronizado</p>

Fonte: IT 15 – Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (CMBESP).

Em um artigo elaborado por W. K. Chow e C.L. Chow (2005), descreve-se o movimento de evacuação com controle de fumaça por átrios em edifícios verdes e sustentáveis.

### 3.2 O MOVIMENTO DE EVACUAÇÃO E O TEMPO DE ESCAPE EM EDIFÍCIOS

W. K. Chow é professor de Arquitetura e Engenharia do Fogo e Chefe do Departamento da Universidade Politécnica de Hong Kong, China, tendo participado como membro de várias conferências internacionais de edifícios sustentáveis.

Em 2005, Chow elaborou, juntamente com C. L. Chow, um artigo sobre o movimento de evacuação com controle de fumaça por átrios em edifícios verdes e sustentáveis.

Em seu artigo, descreve a importância de se proteger o meio ambiente, usando menos energia através da previsão de ventilação natural e a utilização da luz do dia, e de se desenvolver melhor o gerenciamento de resíduos e melhor prevenção do reuso da água. Destaca ainda a importância dos projetos de arquitetura e de construções, dos sistemas elétricos e mecânicos, e o planejamento de construções na obtenção das medidas verdes e sustentáveis.

Os problemas encobertos de segurança contra incêndio encontrados em alguns grandes projetos com novas características arquitetônicas para edifícios verdes e sustentáveis de Hong Kong chamaram a atenção de Chow, no qual destaca alguns exemplos: os vazios dentro de edifícios, as fachadas em pele de vidro duplo, as excessivas provisões de ventilação natural, o uso de materiais com melhor isolamento térmico e a proteção ao fogo em átrios. O crescimento da fumaça

no ambiente traria problemas e o movimento de evacuação abaixo da fumaça foi identificada como sendo a chave da questão. Aquele pesquisador acredita que, fornecendo-se mais saídas de emergência, no caso de edifícios novos, seria possível uma evacuação mais rápida, mas pode ocorrer problemas de segurança patrimonial.

Uma alternativa encontrada foi a instalação de um sistema de gerenciamento da fumaça para mantê-la em uma camada mais alta. Melhores projetos podem ser atingidos integrando o tempo de evacuação com o tempo de obturação da fumaça segundo diferentes cenários. O projeto de evacuação pode ser melhorado com a instalação de um sistema de exaustão de fumaça. O artigo demonstra o desempenho do sistema pelo gerenciamento da segurança contra incêndio fornecendo uma segurança adequada.

Primeiramente, é comum o uso de átrios em edifícios verdes e sustentáveis por prover melhor ventilação natural e mais luz do dia, e ainda melhor para controle térmico sendo para aquecimento ou esfriamento. Mas apesar disso, o átrio tem dificuldades em satisfazer as normas prescritivas de incêndio.

Com a utilização de *softwares*, é possível estudar o movimento da fumaça em edifícios com átrios e identificar quais os fatores existentes para o aumento da camada de fumaça. Isso foi comprovado no estudo em questão, verificando-se que o tempo de saída dos ocupantes é menor dependendo da quantidade de pessoas no ambiente.

Outro estudo realizado foi o da arquiteta Paula Etrusco, em 2002, na Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, sobre o tempo de escape em edificações, referente aos desafios do modelamento de incêndio no Brasil.

Em seu artigo, com base na moderna normalização fundamentada em desempenho, discute-se a formulação do tempo necessário para escape em edificações.

Aquela autora destaca que, o fato dos incêndios serem fenômenos extremamente violentos e essencialmente aleatórios faz da evacuação dos locais de maior risco a estratégia mais confiável de salvamento de vidas humanas.

A reação ao fogo dos materiais aplicados em uma edificação tem grande influência sobre o tempo disponível para a evacuação dos compartimentos envolvidos em incêndios. Lembrando que, a determinação de exigências mínimas dos materiais de construção quanto esta reação ao fogo pode ser feita no contexto de uma estrutura de regulamentação prescritiva. A velocidade com que as condições insustentáveis são criadas em um ambiente incendiado depende de parâmetros como a velocidade de propagação das chamas, o volume e a densidade ótica da fumaça gerada e da razão de liberação de calor de incêndio.

No artigo de Etrusco, discute-se a formulação para o cálculo do tempo de escape de edificações com ênfase para a determinação de parâmetros fundamentais, como a densidade populacional e o tempo de pré-movimento.

Aquela autora ressalta, a princípio, a arquitetura da edificação, que pode ou não facilitar a orientação dos usuários. Utiliza o Tempo Disponível para o Escape Seguro (TDES), que é determinado de forma subjetiva, refletindo as exigências mínimas estabelecidas para cada ocupação. Mas, do ponto de vista do modelamento determinístico<sup>43</sup> do incêndio, o TDES pode ser calculado, dentre outros parâmetros, em função da altura (Z) do colchão de fumaça, da distância de visibilidade (S) e da temperatura média do colchão de fumaça. O TDES é uma função direta da reação ao fogo dos materiais.

O tempo necessário para o escape ( $D_{tesc}$ ) costuma ser composto de várias parcelas:

- $D_{tdet}$  = determinado pela detecção (em segundos) a partir do instante inicial da ignição;
- $D_{ta}$  = determinado um tempo (em segundos) para o acionamento do alarme.
- $D_{tpre}$  = denomina-se tempo de pré-movimento, dependendo da reação ao alarme, isto é, do intervalo de tempo decorrido entre o acionamento do alarme e o primeiro movimento em direção de uma saída de emergência, ocorrendo um 'atraso'.
- $D_{te}$  = o tempo que a população da edificação gasta através da saída.

---

<sup>43</sup> Vide Capítulo 4.

Em resumo tem-se a equação:

$$Dt_{esc} = Dt_{det} + Dt_a + Dt_{pre} + Dt_e.$$

Equação 1

Esta equação pode ser aplicada somente após a elaboração minuciosa de um perfil de escape da população da edificação.

A capacidade de ocupação é um dos parâmetros para elaboração deste perfil.

Paula Etrusco estabelece em seu artigo que os centros comerciais, como *shopping centers*, parecem ter especificidades no Brasil que os distinguem dos seus similares em outros países do primeiro mundo.

Outro parâmetro utilizado são as características dos ocupantes e tempo de pré-movimento. Segundo o documento BSI DD240 (1999), o tempo de pré-movimento, conforme o tipo de ocupação, é dado na Tabela 4 para as simulações de evacuação iniciada apenas pelo sinal de alarme, não orientada e orientada por sistema de som interno com auto-falantes.

Tabela 4 – Valores do tempo de pré-movimento (BSI DD240).

Ocupação	Tempo de pré-movimento $t_{pre}$ (s)		
	Ruído do alarme	Evacuação não orientada	Evacuação orientada
Hospitais	480	300	180
Residencial	360	240	120
Hotéis	300	240	120
Locais de Assembléias	300	180	120
Estádio	300	180	120
Centros Comerciais	300	180	120
Lojas	300	180	120
Estações de Metrô	240	180	60
Escritórios	240	180	60

Fonte: ETRUSCO e GOUVEIA, 2002.

Ainda tem-se o parâmetro: Características do movimento.

Em resumo, o tempo disponível para o escape seguro depende fundamentalmente da geração de fumaça pelo incêndio e da eventual existência de um sistema de controle.

No estudo de Etrusco, observa-se a descrição de alguns desafios relacionados ao modelamento de incêndio no Brasil, que são:

- a) a determinação das razões de liberação de calor, seja em ensaios com calorímetros da mobília, seja em ensaios de compartimentos para caracterizar os incêndios ocorridos no país em função da arquitetura típica, da ventilação mais utilizada e da geometria dos compartimentos;
- b) a determinação da quantidade de calor carreada pelas chamas em função do material combustível e dos índices de ventilação típicos de edificações brasileiras; e
- c) a determinação das distribuições de temperaturas típicas para determinadas ocupações, levando-se em conta as características comuns de ventilação e geometria dos ambientes nas edificações brasileiras, agrupadas em função da ocupação ou de outra característica do tipo construtivo. (ETRUSCO; GOUVEIA, 2002).

Em projeto, o tempo disponível para o escape pode ser avaliado, no nível preliminar, na ausência de modelos mais sofisticados, através do estabelecimento de critérios de sustentabilidade da vida a serem estabelecidos em regulamentos específicos, como o documento BSI DD240 (1999), que considera alguns critérios aplicáveis a edificações europeias: a visibilidade mínima de 10 metros, a exposição máxima a radiação de 2,5 kW/m<sup>2</sup>, e a temperatura máxima a 1,70 metros do piso igual a 120°C.

Outro artigo publicado sobre o uso de ferramentas computacionais para modelamento de incêndio e evacuação foi elaborado por George Braga e André Campos, ambos físicos e membros do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, para o SENABOM (2010).

O artigo intitulado “Simulação computacional aplicada à prevenção de incêndios”, destaca a utilização do programa de simulação de incêndio FDS e o aplicativo de evacuação (FDS + Evac), simulando a fuga dos ocupantes do edifício em conjunto com as situações do incêndio. Os autores identificaram os riscos em que as pessoas estão envolvidas ainda na fase de projeto, por meio de estudo de

caso em um prédio virtual com características típicas de uso de escritórios, conforme a NBR 9077/2001 da ABNT. Os resultados obtidos permitem avaliar o tempo total de evacuação com os tempos prescritos na NBR 9077, em termos de visibilidade na camada de fumaça e da toxicidade dos produtos da combustão.

Aqueles autores ainda comentam sobre as legislações prescritivas e de desempenho.<sup>44</sup>

O prédio virtual utilizado para as simulações tem doze pavimentos e 30,8 metros de altura, considerada pela NBR 9077 como edificação alta. A área total construída é de aproximadamente 8.730 m<sup>2</sup>, dividida em pavimentos tipo com área de 730 m<sup>2</sup>, classificados pela NBR 9077 como de pequeno pavimento (área menor que 750m<sup>2</sup>). No estudo de caso apresentado, as paredes não contribuirão para a propagação do incêndio, sendo, portanto, o prédio enquadrado como de difícil propagação do fogo.

A escada de emergência também foi dimensionada conforme a NBR 9077, considerada para este prédio a escada à prova de fumaça (com paredes e portas corta-fogo, acesso feito por antecâmara, cuja ventilação é feita por dutos). Sua largura, de acordo com a população estipulada, é considerada a mínima: 1,10 metros.

E a distância a ser percorrida é de 45 metros até uma única saída, que é o caso considerado neste artigo.

A densidade populacional, também segundo a NBR 9077, para edifícios de escritórios é de uma pessoa por 7m<sup>2</sup> de área de piso.

A NBR 9077 estabelece que a capacidade da unidade de passagem deve evacuar 60 pessoas por minuto pelas escadas e 100 pessoas por minuto pelos corredores e portas.

Para uma primeira simulação considerou-se o prédio sem incêndio, portanto, somente o movimento de evacuação. Verificou-se que nenhum dos andares foi evacuado em menos de um minuto. Os autores observaram que esse tempo total está muito próximo de valores obtidos usando *software* comercial (Simulex), o que reforça a validação do modelo.

---

<sup>44</sup> Descritas no Capítulo 4.

Para uma segunda simulação considerou-se o fogo e a evacuação, com ignição no segundo pavimento e um tempo de pré-movimento de 180 segundos.

Nesta simulação, nota-se que em 7 minutos houve uma redução da velocidade do movimento dos ocupantes até a saída de emergência devido às condições de fumaça (camada de fumaça muito baixa).

Os dois principais efeitos da fumaça considerados para redução da velocidade de deslocamento dos agentes são a redução da visibilidade e a toxicidade dos gases. A redução de visibilidade é calculada estimando a redução da intensidade da luz ao passar pela camada de fumaça.

Os autores concluíram que, para este estudo, comparando-se ao que prescreve a NBR 9077, é possível observar que a largura exigida da escada não comporta a capacidade de fluxo para evacuar as pessoas dos pavimentos em um minuto. Além disso, num cenário de incêndio severo (andar baixo, grande produção de fumaça e portas da escada aberta), as rotas de fuga ficam bloqueadas pela fumaça, dificultando e até impedindo a fuga. Os autores, a partir da análise dos resultados das simulações, apontam a necessidade de estudos mais profundos no sentido de revisão dos critérios prescritivos atualmente admitidos para as saídas de emergência e adoção de parâmetros de desempenho.

## **4 A QUESTÃO DO ESCAPE EM EDIFÍCIOS ALTOS: A INFLUÊNCIA DA FUMAÇA DE INCÊNDIO NA PROTEÇÃO DA VIDA**

A segurança contra incêndio tem um papel importante para elaboração e implantação de medidas preventivas e de proteção contra incêndio em edifícios, a fim de preservar a vida e os bens materiais em geral.

Sem dúvida, a preservação da vida é o fator mais importante a ser considerado.

Para esta pesquisa, a maior preocupação é com a saída segura e sem ferimentos dos ocupantes de edifícios em caso de incêndio, isto é, as rotas de fuga, ou meios de escape elaborados em projeto e utilizados na edificação na ocorrência de sinistros, devem proteger, facilitar e garantir a saída de pessoas presentes na edificação.

O principal objetivo desta pesquisa é estabelecer medidas que façam com que as pessoas ganhem tempo para saírem do edifício com segurança, ou seja, aumentar o tempo de fuga propondo ambientes protegidos contra o fogo e a fumaça, capazes de garantir a saída de todos os ocupantes, além de retardar a propagação do incêndio, principalmente da fumaça, na edificação.

### **4.1 DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO: PRÉDIOS ALTOS**

Para esta pesquisa, foram consideradas as edificações altas (verticalizadas), devido ao fato de que destes tipos de edifícios serem ocupados por um número maior de pessoas do que nas edificações térreas ou mais baixas, além da altura que deverá ser vencida pelos seus ocupantes até uma saída externa.

Considerando a proteção da vida o ponto mais importante nesta pesquisa, utilizou-se o que prescreve a NBR 9077/2001 – Saídas de emergência em edifícios da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para definir as características dos edifícios altos escolhidos para análise.

Quanto à altura dos edifícios considerou-se o quadro a seguir, anexo a NBR 9077: edificações altas, código O, H>30m. (Quadro 7, grifo nosso)

Quadro 7 – Classificação das edificações quanto à altura.

Código	Tipo de edificação	Alturas contadas da soleira de entrada ao piso do último pavimento, não consideradas edículas no ático destinadas a casas de máquinas e terraços descobertos (H).	
	Denominação		
[...]			
O	Edificações altas	O – 1	H > 30,00m
		O – 2	Edificações dotadas de pavimentos recuados em relação aos pavimentos inferiores, de tal forma que as escadas dos bombeiros não possam atingi-las, ou situadas em locais onde é impossível o acesso de viaturas de bombeiros, desde que sua altura seja H > 12,00m.

Fonte: Anexo – Tabelas – Tabela 2 – NBR 9077/2001.

Para os edifícios com classificação de Código O-1, independente de sua área, em planta, de maior pavimento, as escadas de emergência devem ser do tipo à prova de fumaça, com antecâmaras ventiladas por dutos de entrada e saída de ar, ou pressurizadas, conforme o quadro a – Número de saídas e tipos de escadas, anexo a NBR 9077. (Quadro 8)

Quadro 8 – Número de saídas e tipos de escadas.

Dimensão		P (área de pavimento ≤ 750m²)		Q (área de pavimento > 750m²)			
Altura		[...]	O		[...]	O	
Ocupação			N <sup>os</sup>	Tipo esc.		N <sup>os</sup>	Tipo esc.
Gr.	Div.						
[...]			[...]			[...]	
D	-		1	PF		2	PF

[...]

Onde: PF = Escada à prova de fumaça

Fonte: Anexo – Tabelas – Tabela 2 – NBR 9077/2001.

Utilizou-se também o que prescreve o quadro a seguir, anexo a NBR 9077, que classifica a edificação quanto à sua ocupação, fato que, para o presente estudo, os edifícios devem possuir o mesmo uso, a mesma função. (Quadro 9)

Quadro 9 – Classificação das edificações quanto à sua ocupação.

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
[...]				
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1	Locais para prestação de serviços profissionais ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, consultórios, instituições financeiras (não incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleireiros, laboratórios de análises clínicas sem internação, centros profissionais e outros.
		D-2	Agências bancárias	Agências bancárias e assemelhados.
		D-3	Serviços de reparação (exceto os classificados em G e I)	Lavanderias, assistência técnicas, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros.

[...]

Fonte: Anexo – Tabelas – Tabela 1 – NBR 9077/2001.

Para esta pesquisa, portanto, consideram-se os edifícios com ocupação de serviços profissionais, pessoais e técnicos: locais para prestação de serviços profissionais ou condução de negócios, como por exemplo, escritórios.

A partir daí, procurou-se edifícios que atendessem a condição principal da metodologia adotada: um edifício com características “verdes”, e um edifício típico que não tivesse sido projetado primordialmente para ser um edifício verde.

Os edifícios adotados na pesquisa foram: o Bloco C do Complexo Brasil 21, em Brasília, Distrito Federal, Brasil (edifício típico), e o Commerzbank Tower, em Frankfurt am Main, na Alemanha (edifício verde).

#### 4.1.1 Edifício Brasil 21 – Business Center Park – Bloco C

O primeiro prédio escolhido é um dos edifícios comerciais do Complexo Brasil 21 - Business Center Park, como edifício típico, localizado no Setor Hoteleiro Sul, na cidade de Brasília, Distrito Federal, Brasil. A referência foi o resultado de uma pesquisa desenvolvida para uma Dissertação de Mestrado<sup>45</sup>, onde este edifício atendeu a todas as variáveis, baseadas nas exigências da NBR 9077 – Saída de emergência em edifícios, e analisadas através de visitas feitas ao local. Além disso, este edifício representa, em planta, uma configuração normalmente utilizada nos edifícios dos Ministérios em Brasília (salas individuais e um corredor de acesso central).

A Figura 77 ilustra todo o complexo.



Figura 77 – Vista aérea do Complexo Brasil 21.

Fonte: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=441071>

---

<sup>45</sup> ALVES, Alessandra B. C. G. **Incêndio em edificações: a questão do escape em prédios altos em Brasília (DF)**, Dissertação de Mestrado. Brasília, UnB, 2005.



Legenda	
1	Bloco A (comercial)
2	Bloco B (hotel)
3	Bloco C (comercial)
4	Bloco D (hotel)
5	Bloco E (comercial)
6	Bloco F (hotel)
7	Bloco G (centro de convenções)

Figura 78 – Implantação do Complexo Brasil 21 em relação ao Norte.

Fonte: Imagem Google Earth.

Considerou-se para esta pesquisa o Bloco C do referido complexo de edificações. (Figuras 79 e 80)



Figura 79 – Bloco C – Business Center Park – Complexo Brasil 21 (Fachada Noroeste).  
Fonte: Da autora.



Figura 80 – Bloco C – Business Center Park – Complexo Brasil 21 (Vista Oeste).  
Fonte: Da autora

O Bloco C do Complexo Brasil 21 possui dois subsolos e um pavimento semi-enterrado para uso de garagens, térreo (recepção, salas de segurança e espaço em pilotis), o primeiro pavimento é um mezanino com galeria para exposições, do segundo ao vigésimo pavimentos são destinados ao uso de escritórios. O edifício tem 65 metros de altura a partir do piso do pavimento térreo.

Os pavimentos de escritórios possuem três plantas diferentes conforme as Figuras 81, 82 e 83.

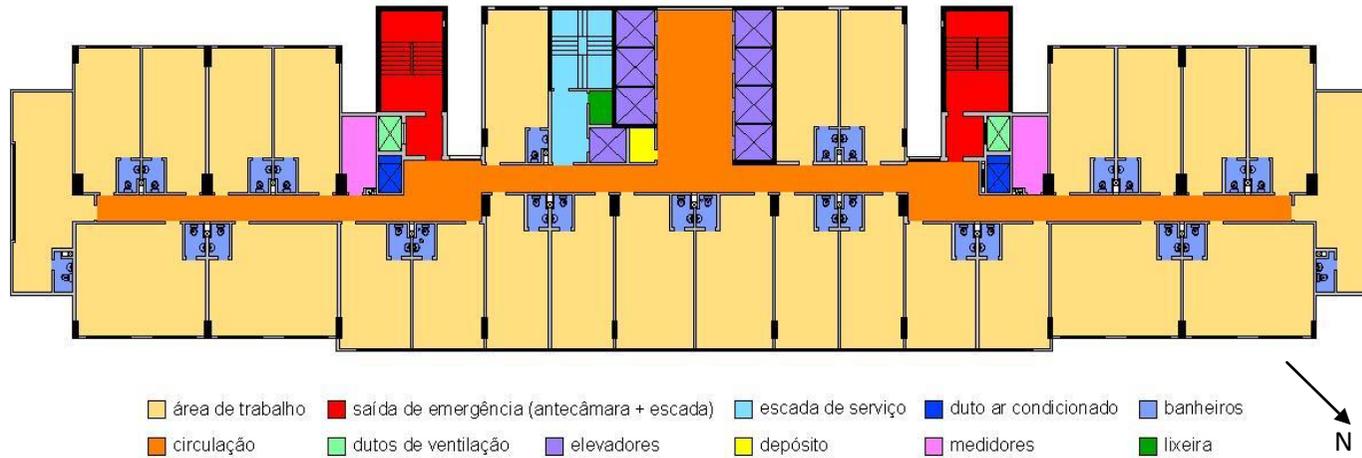


Figura 81 – Planta baixa – 2º ao 11º pavimentos – Área total por pavimento: 1.348,85m<sup>2</sup>.

Fonte: Plantas adaptadas de plantas executivas cedidas pela administração do edifício.

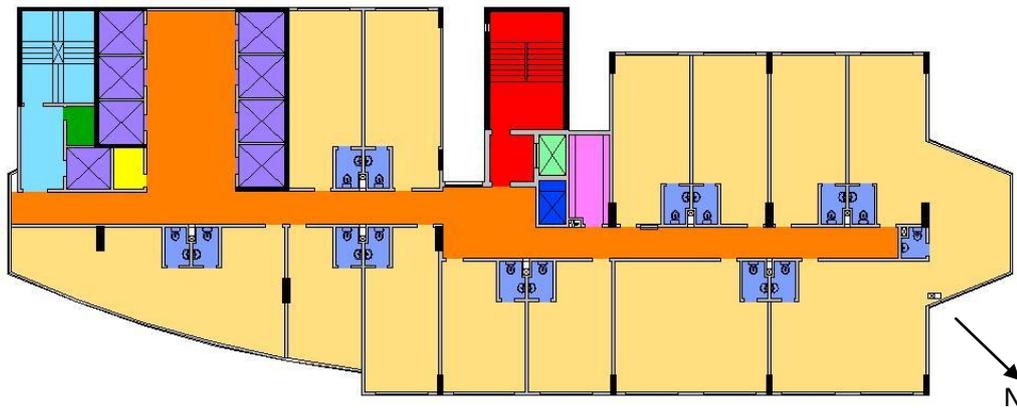


Figura 82 – Planta baixa – 12º ao 18º pavimentos – Área total por pavimento: 755,06m<sup>2</sup>.  
 Fonte: Plantas adaptadas de plantas executivas cedidas pela administração do edifício.

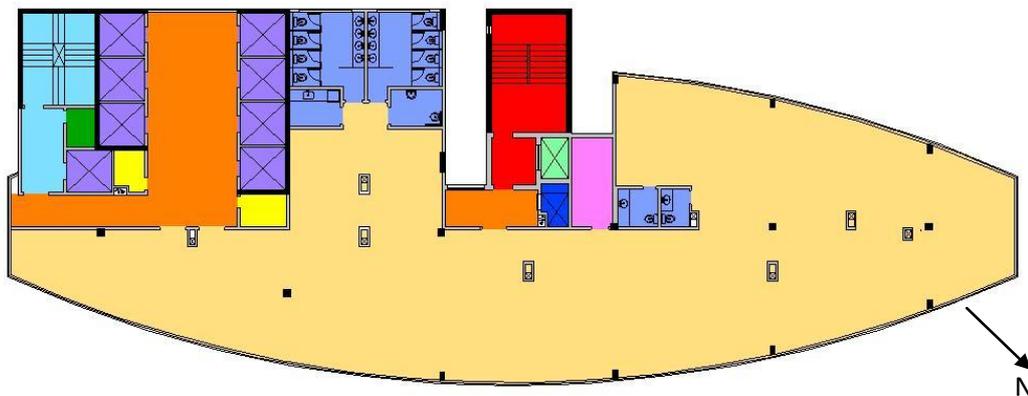


Figura 83 – Planta baixa – 19º e 20º pavimentos – Área total por pavimento: 665,20m<sup>2</sup>.  
 Fonte: Plantas adaptadas de plantas executivas cedidas pela administração do edifício.

O projeto arquitetônico de todo o Complexo Brasil 21 foi elaborado pelo escritório Dávila Arquitetura, e a conclusão de sua construção foi em 1995.

As fachadas dos edifícios têm material de acabamento em vidro e pedra (granito).

Os edifícios possuem uma central de segurança patrimonial 24 horas, controlando toda e qualquer alteração na edificação. Assim, em relação a ocorrência de incêndio, essa central é acionada e os próprios seguranças ativam, por exemplo, a pressurização da escada.

A Figura 84 representa o corte longitudinal da edificação.

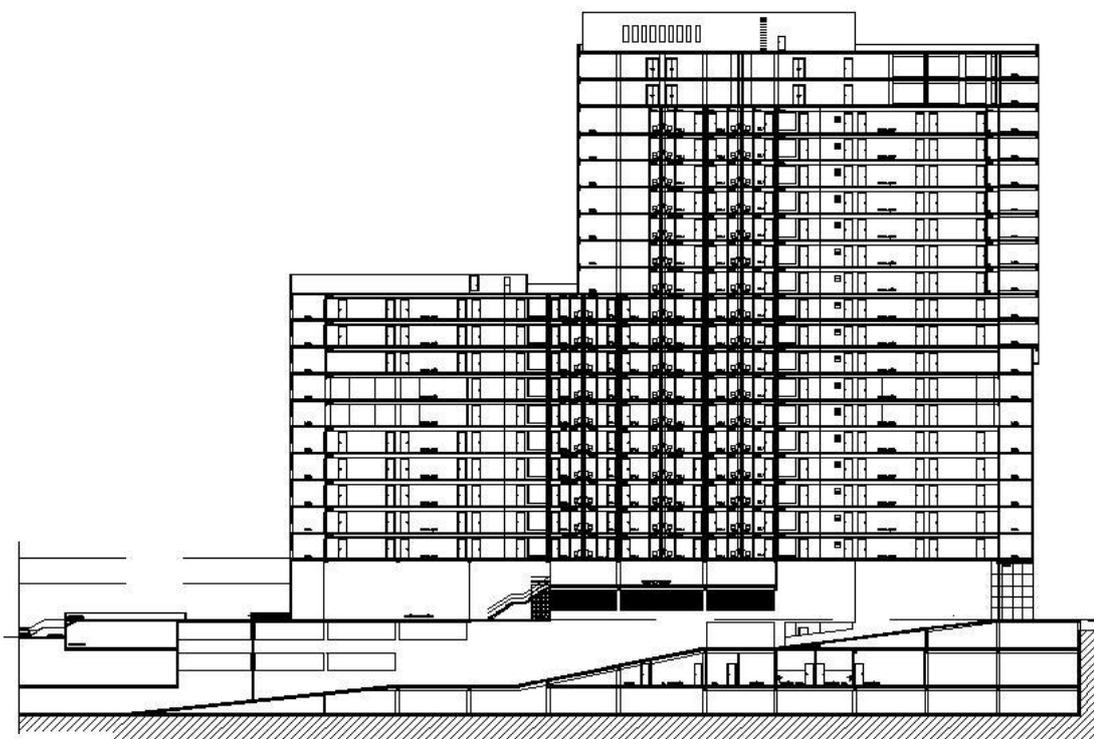
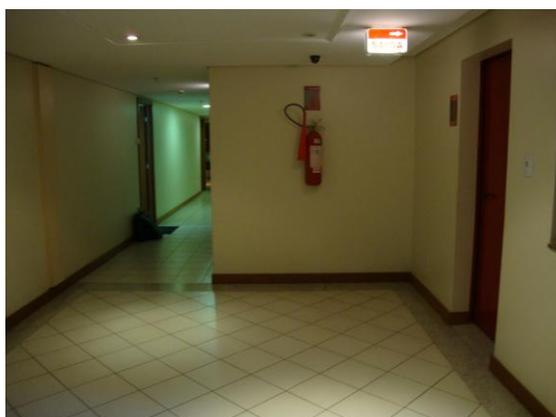


Figura 84 – Corte longitudinal do Bloco C – Edifício Brasil 21.

Fonte: Corte adaptado de corte cedido pela administração do edifício.

Como pode ser observado pelas plantas do prédio, existem duas saídas de emergência, com escadas pressurizadas. (Figuras 85A e B, e 86)



A



B

Figura 85 - Vista da porta de entrada da saída de emergência (hall de circulação): (A) saída à esquerda e (B) saída à direita.

Fonte: Da autora.



Figura 86 – Vista interna da escada de emergência.

Fonte: Da autora.

O edifício possui, além das escadas à prova de fumaça pressurizada, uma escada de serviço que representa uma escada enclausurada protegida, apresentando, em sua entrada, uma porta corta-fogo. (Figuras 87 e 88)



Figura 87 – Vista da porta de entrada da circulação de serviço.

Fonte: Da autora.



Figura 88 – Vista do *hall* de serviço (porta de entrada da escada + porta da lixeira + elevador de serviço).

Fonte: Da autora.

As escadas terminam no térreo em um mesmo *hall*, próximo ao *pilotis* e à área exterior. (Figura 89)



A

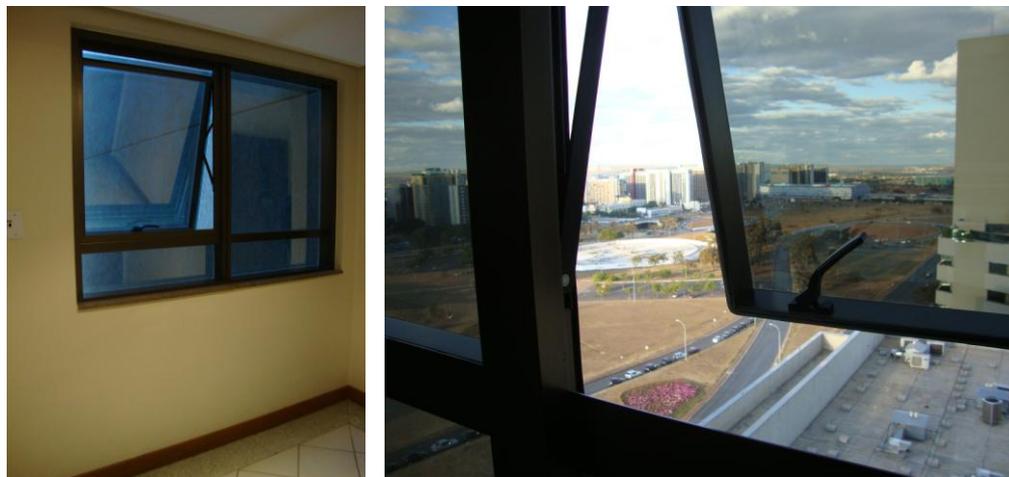


B

Figura 89 – Vista das portas corta-fogo com saída da escada no térreo (A) e (B).

Fonte: Da autora.

O edifício possui sistema de ar condicionado central e as janelas dos andares de escritórios são do tipo maxim-ar. (Figura 90)



A

B

Figura 90 – Tipo de esquadrias nos andares de escritórios (A) e (B).

Fonte: Da autora.

A Figura 91 destaca o *hall* de elevadores.



Figura 91 – *Hall* de elevadores (andares tipo).

Fonte: Da autora.

A circulação interna é marcada por um corredor central. (Figura 92)



A

B

Figura 92 – Corredor interno – pavimento de maior área (A) e (B)

Fonte: Da autora.

O edifício possui *sprinklers* e a distância máxima a ser percorrida até a escada é de 25 metros.

Os *shafts* de instalações são fechados por paredes de alvenaria, podendo ser acessados para manutenção em cada pavimento, pois possuem uma porta em acrílico.

Os banheiros também são em alvenaria, enquanto que as salas são envolvidas por paredes em gesso acartonado.

O edifício também conta com brigadistas de incêndio que orientam as saídas.

#### 4.1.2 Commerzbank Tower

O segundo edifício escolhido para este trabalho é o Commerzbank Tower, na cidade de FrankFurt, estado de Hesse, na Alemanha. (Figura 93)



Figura 93 – Commerzbank Tower. Frankfurt, Alemanha.

Fonte: <http://www.aviewoncities.com/frankfurt/commerzbanktower.htm>

O projeto foi elaborado por Norman Foster & Partners. O Commerzbank Tower possui 259 metros de altura e é o centésimo vigésimo primeiro edifício mais alto do mundo e o septuagésimo segundo edifício de escritórios mais alto do mundo ([www.emporis.com](http://www.emporis.com)). (Figura 94)



Figura 94 – Vista panorâmica da cidade de Frankfurt com destaque ao Commerzbank Tower.

Fonte: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

No início dos anos 1990, o Partido Verde de Frankfurt, que governou a cidade junto com o partido socialista, encorajou o Commerzbank<sup>46</sup> a projetar um arranha-céu verde. Foi nesta época que se iniciou a elaboração do projeto deste edifício concluído em 1997, e que até 2003 era o edifício mais alto da Europa, quando se inaugurou o Triumph Palace, em Moscou.

Assim, o Commerzbank Tower é considerado o primeiro arranha-céu ecologicamente correto do mundo, devido a seus jardins suspensos e à aplicação da tecnologia para reduzir o consumo de energia no edifício.

A Figura 95 mostra a implantação do Commerzbank Tower.

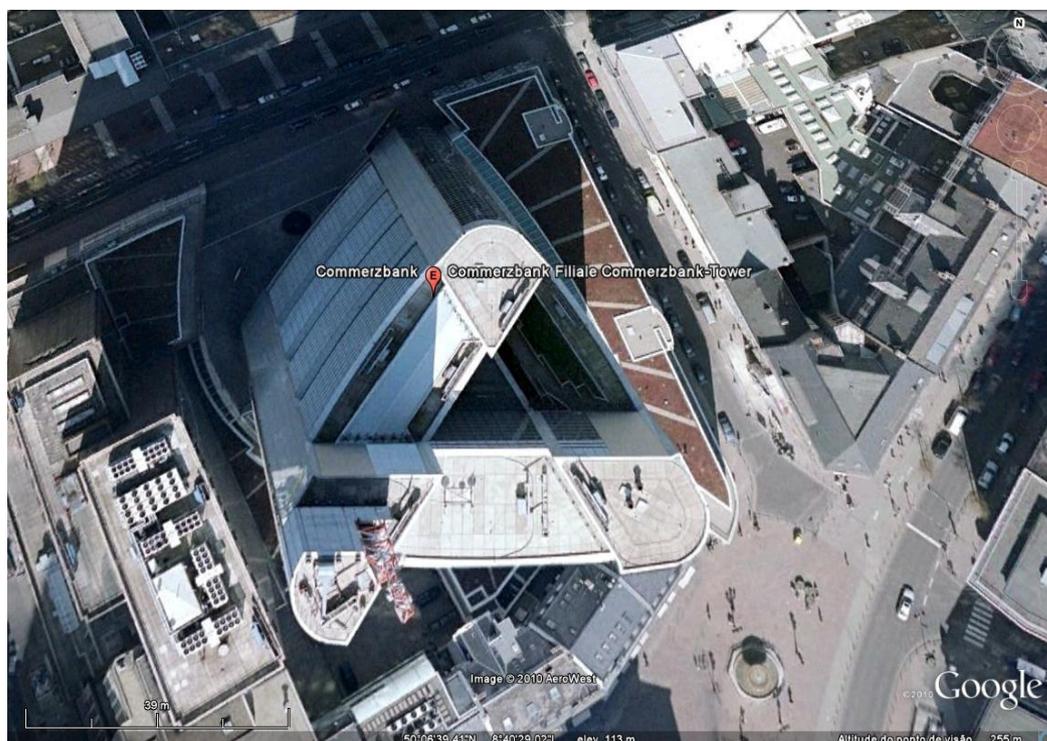


Figura 95 - Vista da implantação do Commerzbank Tower.

Fonte: imagem capturada do Google Earth

<sup>46</sup> Commerzbank é a segunda maior instituição financeira da Alemanha e um dos maiores bancos da Europa. ([www.commerzbank.com](http://www.commerzbank.com))

O edifício tem como partido uma planta em forma de um triângulo equilátero de 60m de lado com um átrio central também triangular. De 9 em 9 andares os átrios se abrem para um dos três lados do triângulo, formando um grande jardim suspenso. (Figura 96)

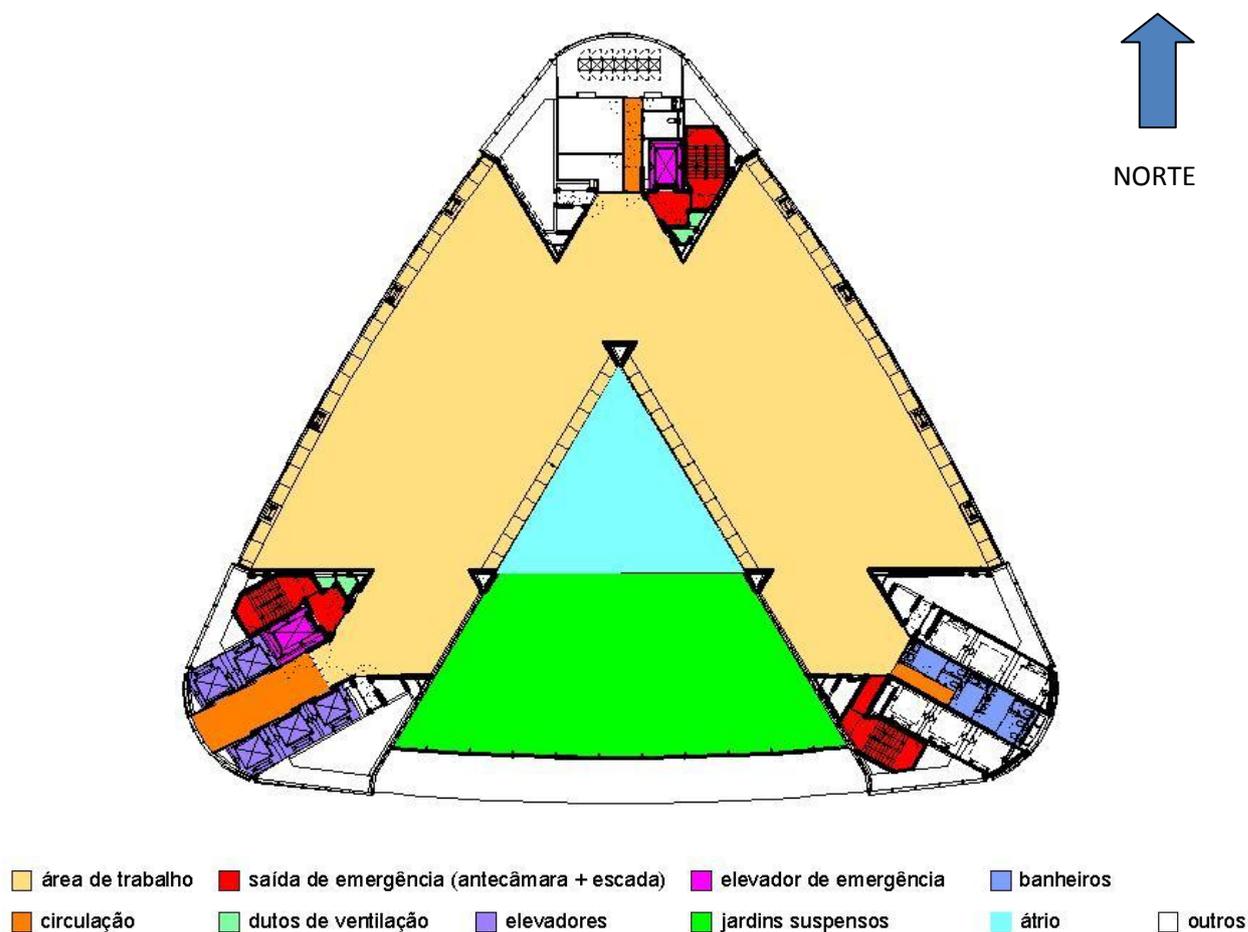


Figura 96 – Planta baixa do Commerzbank Tower – Área sem jardins = 1562,95m<sup>2</sup>

Fonte: Arquivo pessoal de Foster & Partnars.

A área de escritórios possui três diferentes leiautes. (Figuras 104, 105 e 106)

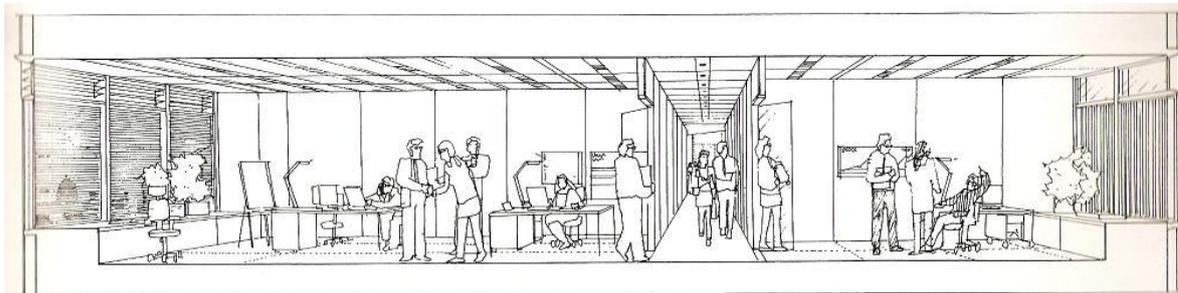


Figura 97 – Leiaute dividido em salas menores e criação de um corredor central.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.

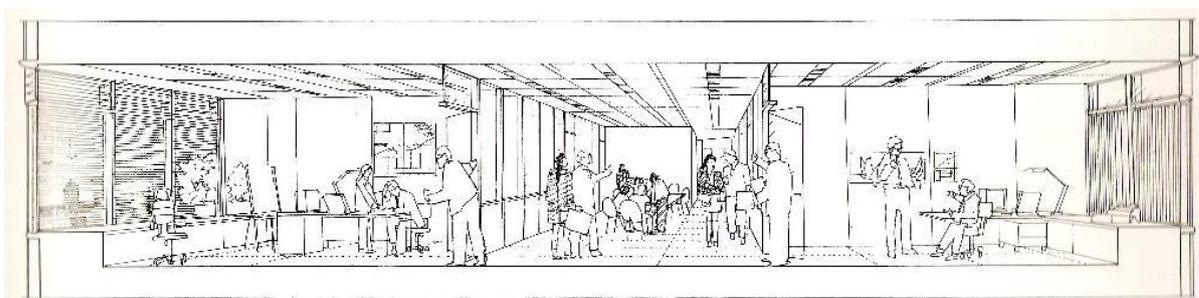


Figura 98 – Leiaute deixando uma área de produção central mais larga, sem aspecto de corredor.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.

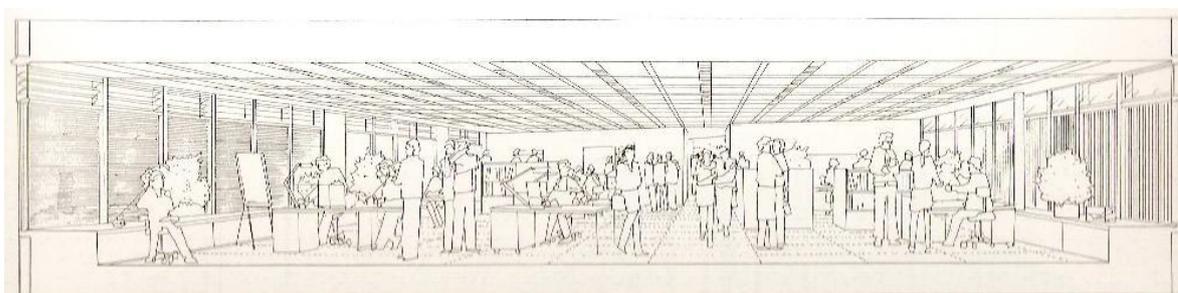


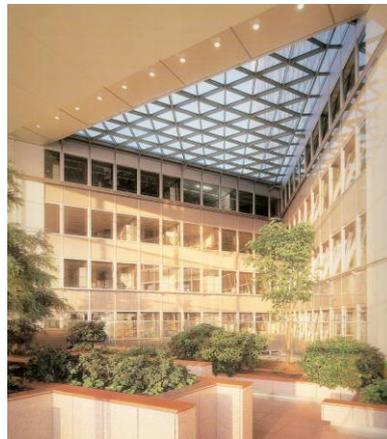
Figura 99 – Leiaute livre.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.

A área de trabalho tem aproximadamente 1035m<sup>2</sup>, sem a área verde.

O átrio central tem aproximadamente 127m<sup>2</sup> de área.

Os jardins suspensos possuem 480m<sup>2</sup> de área e abrangem uma altura de 15m aproximadamente. Foster & Partners consideraram a vegetação dos jardins não apenas como elementos decorativos, mas também dispostos conforme a orientação geográfica: na direção nordeste propôs vegetação típica da Ásia, a noroeste propôs vegetação norte-americana e ao sul, vegetação mediterrânea. (Figuras 100, 101, 102 e 103)



Figuras 100 – Jardim suspenso.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.



Figuras 101 – Jardim suspenso.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.



Figuras 102 – Jardim suspenso.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.



Figuras 103 – Jardim suspenso.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.

Os jardins podem ser vistos pelo desenho do Corte do edifício. (Figura 104)

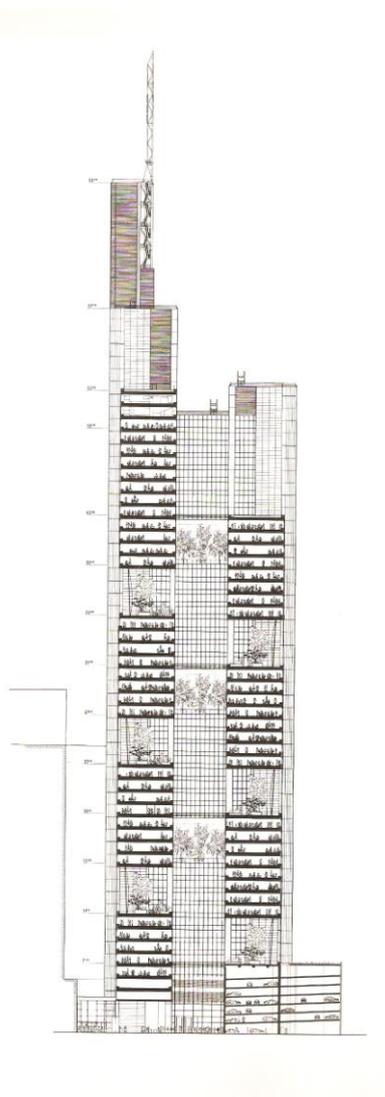


Figura 104 – Corte do Commerzbank Tower

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.

A Figura 105 representa o detalhe dos jardins suspensos intercalados.

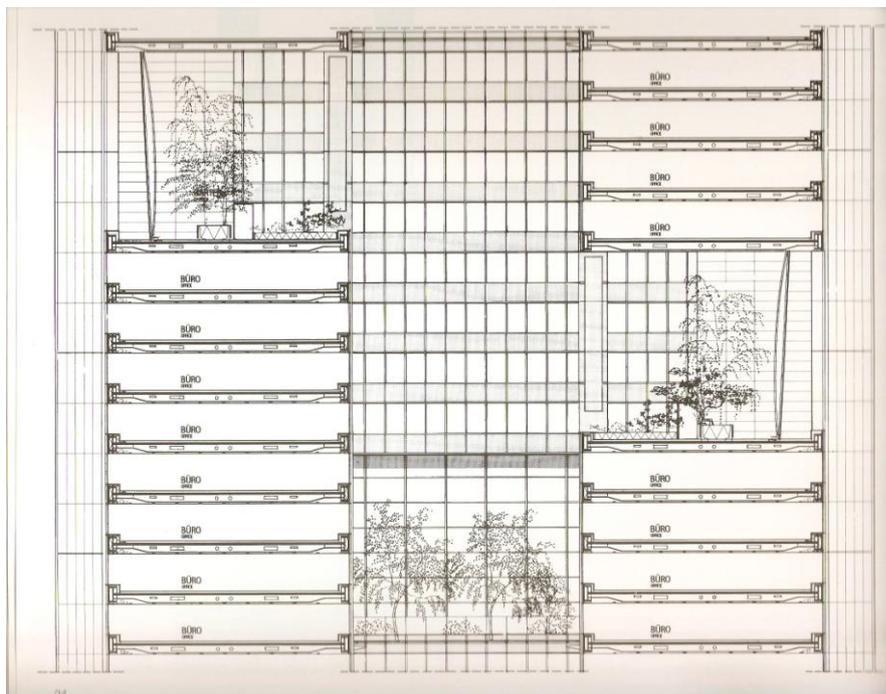


Figura 105 – Detalhe em corte dos jardins suspensos intercalados.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.

Os jardins, além de promover um ambiente confortável, permitindo a entrada de luz e ventilação natural, oferecem, aos usuários, vistas externas, o que torna o ambiente mais agradável. (Figura 106)

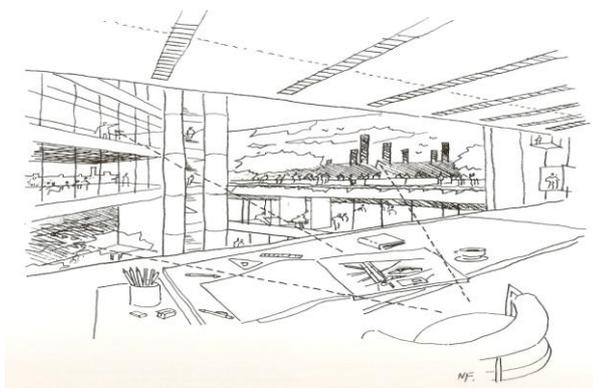


Figura 106 – Croquis da vista para os jardins e átrio.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.

E com o uso da estrutura em aço no edifício foi possível eliminar pilares nesses jardins deixando-os livres. É importante citar que este edifício alto foi o primeiro arranha-céu a utilizar o aço como principal material estrutural. É um exemplo de torre em pórtico. (Figura 107)

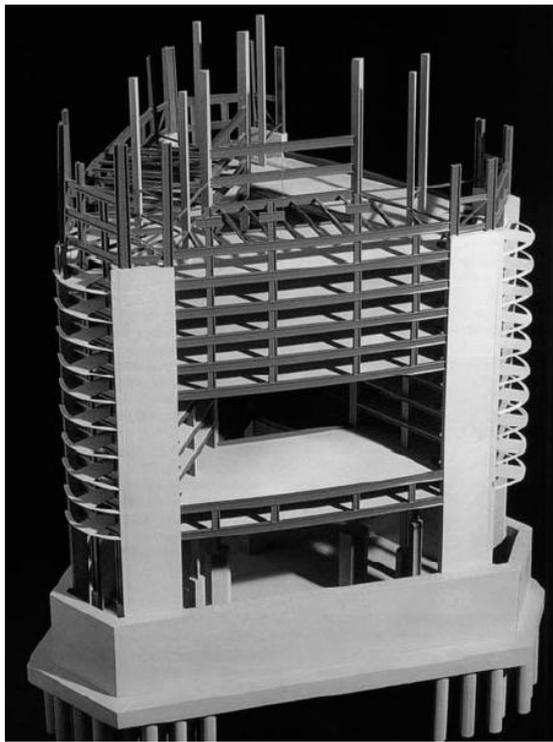
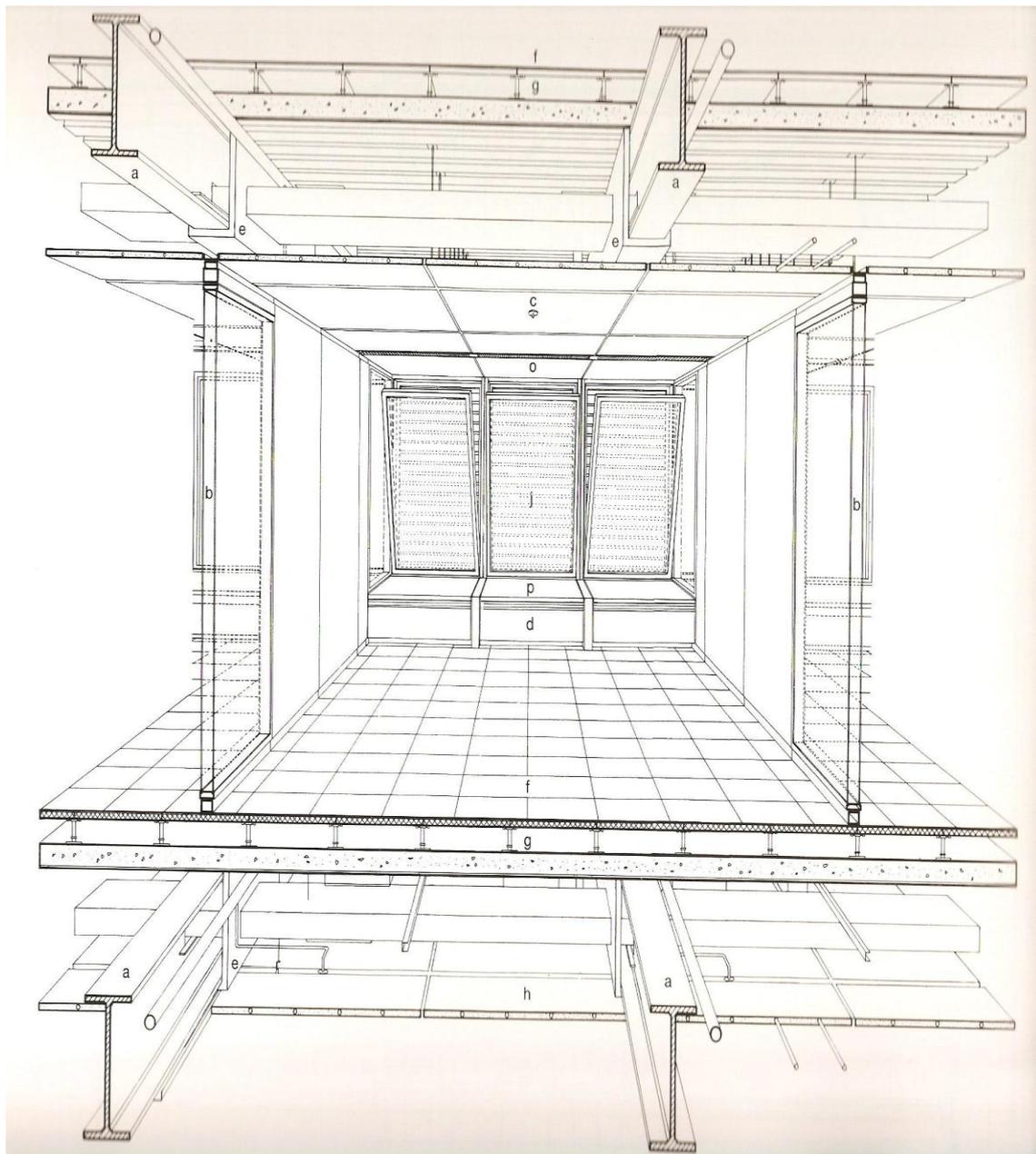


Figura 107 – Imagem computacional da estrutura do Commerzbank Tower.

Fonte: <http://www.tu-harburg.de/mb/exkursion/Pfingstexkursion-2006/Commerzbank-Tower.pdf>

As janelas podem ser abertas garantindo uma ventilação natural em pelo menos nove meses durante o ano e os próprios empregados podem regular essa ventilação (Figuras 108 e 109). Em condições climáticas extremas, a central de comando do edifício ativa os equipamentos de ventilação.



Onde:

a – Estrutura em aço.

b – Divisória de vidro.

c – Sprinkler.

d – Aquecedor.

e – Proteção ao fogo.

f – Piso elevado.

g – Laje em concreto.

h – Forro do teto.

j – Elemento móvel de vidro.

k – Vidro fixo externo.

m – Vidro com película.

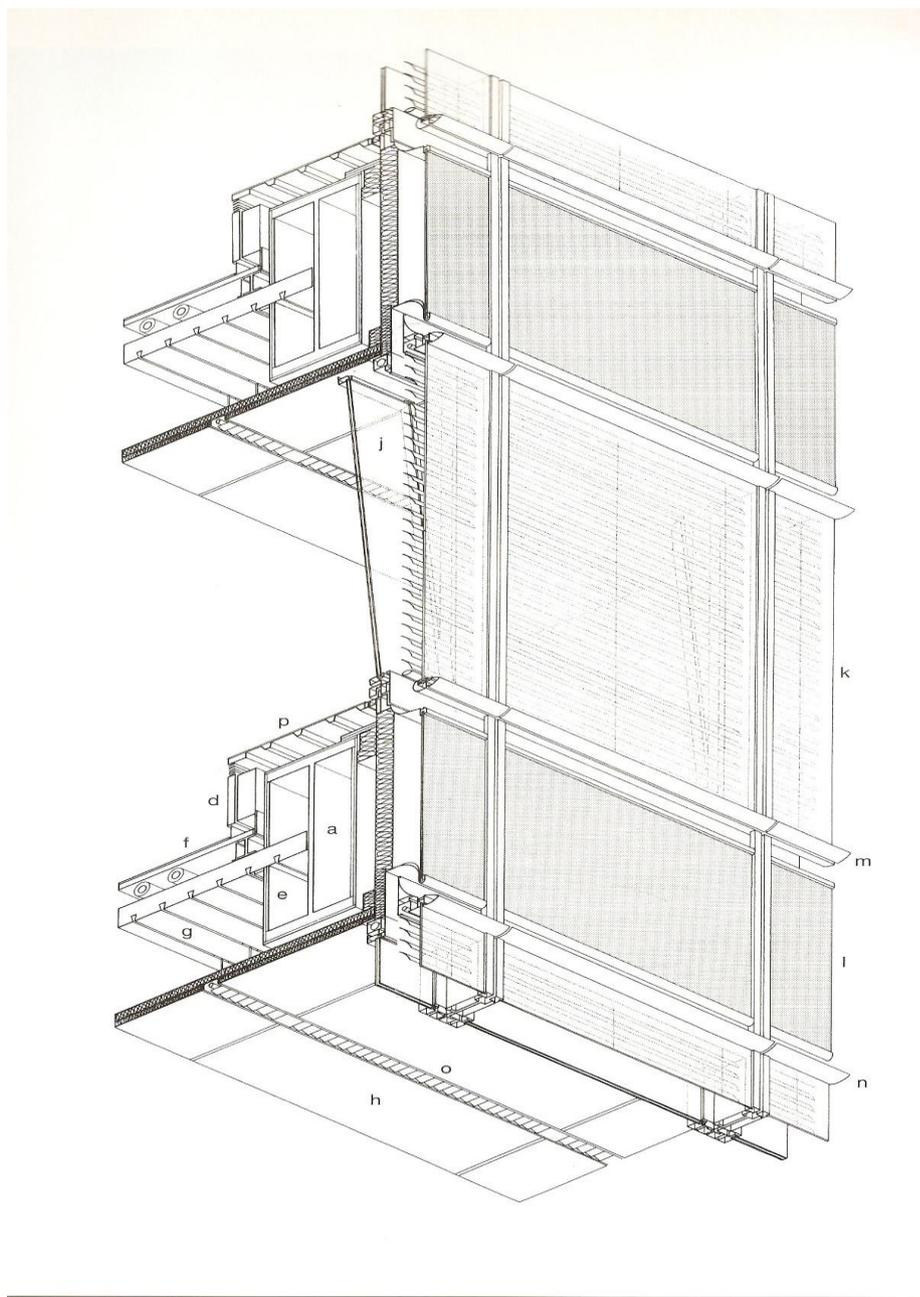
n – Travessa horizontal para saída de ar.

o – Luminária.

P – Tampo de vidro.

Figura 108 – Vista interna e de fachada da janela.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.



Onde:

a – Estrutura em aço.

b – Divisória de vidro.

c – Sprinkler.

d – Aquecedor.

e – Proteção ao fogo.

f – Piso elevado.

g – Laje em concreto.

h – Forro do teto.

j – Elemento móvel de vidro.

k – Vidro fixo externo.

m – Vidro com película.

n – Travessa horizontal para saída de ar.

o – Luminária.

P – Tampo de vidro.

Figura 109 – Vista interna e de fachada da janela.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.

Segundo Filomena Russo, *partner* do escritório de Norman Foster, no Seminário Construções Sustentáveis, ocorrido em junho de 2010, em Brasília-DF, com o tempo de uso do edifício, seus ocupantes estavam trabalhando mais satisfeitos, e o número de atestados de saúde diminuiu bastante, e houve uma melhoria de produção e conseqüentemente um maior desenvolvimento da empresa.

As Figuras 110, 111, 112 e 113 representam o ambiente interno dos escritórios.



Figura 110 – Ambiente interno dos escritórios (A) e (B).

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.



Figura 111 – Ambiente interno dos escritórios.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.



Figura 112 – Ambiente interno dos escritórios.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.



Figura 113 – Ambiente interno dos escritórios.

Fonte: Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.

Assim como a ventilação, a temperatura também pode ser controlada pelos ocupantes individualmente em seus escritórios.

Todos esses fatores contribuem para a eficiência energética do edifício – iluminação natural, ventilação e controle da temperatura.

## 4.2 METODOLOGIA

A metodologia adotada é uma análise comparativa dos resultados obtidos através de simulações computacionais de incêndio e de evacuação entre o edifício Bloco C do Complexo Brasil 21, em Brasília, e o Commerzbank Tower, em Frankfurt.

Utilizou-se para este trabalho, o *software* FDS, para simulação computacional de incêndio, e o aplicativo EVAC, módulo do FDS, para simulação computacional de evacuação, ambos desenvolvidos pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*) em parceria com o laboratório VTT – *Technical Research Centre of Finland*. A escolha por estes programas deve-se a possibilidade de realização de simulações simultâneas entre incêndio e evacuação, possibilitando verificar a influência da fumaça no movimento de saída das pessoas em relação ao tempo de fuga.

### 4.2.1 Simulações computacionais de incêndio e de evacuação

Primeiramente, é preciso explicar a importância de realização de simulações computacionais de incêndio e de evacuação na segurança contra incêndio.

Um dos pontos é na elaboração e revisão de normas.

As normas de segurança contra incêndio podem ser divididas em duas classes: normas prescritivas e normas baseadas em desempenho. As normas prescritivas adotam medidas de forma empírica, abalizadas em ocorrências passadas de sinistros, dizem como fazer para se chegar aos resultados pré-determinados. Por outro lado, as normas baseadas em desempenho estabelecem objetivos de segurança contra incêndio a serem atingidos e permitem que os projetistas e construtores adotem soluções próprias para alcançar os resultados requeridos. (BRAGA & CAMPOS, 2010 p. 2)

O avanço da ciência do fogo e da capacidade de processamento dos computadores propiciou a modernização das normas em direção à aplicação de parâmetros de desempenho. Países como Japão, Canadá, Inglaterra, Austrália, Nova Zelândia e outros adotam códigos de segurança contra incêndios baseados

em desempenho. O Brasil ainda adota normas prescritivas e está evoluindo em relação à implantação de normas baseadas no desempenho, o que ainda gerará muitas pesquisas e comparações entre elas observando a vantagem e a desvantagem de cada uma. (BRAGA & CAMPOS, 2010) (Quadro 10)

Quadro 10 – Vantagens e desvantagens das normas prescritivas e de desempenho, segundo Tavares, Silva e Duarte (2002).

	VANTAGENS	DESVANTAGENS
<b>PRESCRITIVAS</b>	Análise direta, isto é, interpretação direta com o estabelecimento nas normas e códigos.	Recomendações específicas sem que a intenção das mesmas seja declarada.
	Não são necessários engenheiros com uma qualificação mais específica.	A estrutura dos códigos existentes é complexa.
		Não é possível promover projetos mais seguros e a um custo menor.
		Pouco flexíveis quanto à inovação.
		É assumida uma única maneira de assegurar a segurança contra incêndios.
<b>DESEMPENHO</b>	Estabelecimento de objetivos de segurança claramente definidos, ficando a critério dos engenheiros a metodologia para atingi-los.	Dificuldade em definir critérios quantitativos, isto é, critérios de desempenho.
	Flexibilidade para a introdução de soluções inovadoras, as quais venham a atender aos critérios de desempenho.	Necessidade de treinamento, especialmente durante os primeiros estágios de implementação.
	Harmonização com normas e códigos internacionais.	Dificuldade para análise e avaliação.
	Possibilidade de projetos mais seguros e com menor custo.	Dificuldades na validação das metodologias usadas na quantificação.
	Introdução de novas tecnologias no mercado.	

Fonte: BRAGA e CAMPOS, 2010.

As simulações computacionais são ferramentas para o desenvolvimento e comprovações de normas baseadas no desempenho.

As simulações computacionais de incêndio e de evacuação serão utilizadas neste trabalho para a comprovação da hipótese que criando um ambiente seguro (compartimentação protegida) capaz de abrigar os ocupantes do edifício até saírem todos com segurança (aumentando o tempo de evacuação) poderia ser uma

solução para se manter a ventilação natural, especificada para o conforto humano, e que pode ajudar na propagação da fumaça, nos ambientes, sem prejudicar as características de um edifício verde.

#### **4.2.1.1 Simulação computacional de incêndio**

A simulação computacional de incêndio é uma importante ferramenta para conhecimento da dinâmica do fogo nas edificações, bem como dos efeitos da temperatura e da fumaça. Por meio dela, pode-se contribuir sobremaneira para a minimização dos efeitos danosos do incêndio antes mesmo que eles ocorram. A simulação permite compreender como os aspectos estruturais, ambientais e de materiais utilizados no processo construtivo influenciam no desenvolvimento do fogo, favorecendo a melhoria na elaboração das normas técnicas, na preservação do meio-ambiente e no maior controle dos materiais empregados na construção civil. Desse modo, os projetos tornam-se mais viáveis economicamente e adequados às peculiaridades de cada empreendimento, sem deixar de atender aos aspectos de segurança. (ALVES, BRAGA & CAMPOS, 2008)

O desenvolvimento do incêndio em edificações pode ser modelado por meio de *softwares* específicos, tais como: FDS, SMARTFIRE e CFAST. (BRAGA & CAMPOS, 2010)

Um dos programas mais utilizados devido à sua precisão é o *Fire Dynamics Simulator* (FDS), desenvolvido pelo NIST (National Institute of Standards and Technology). O FDS é um modelador de incêndio com base em dinâmica computacional de fluidos (*Computational Fluid Dynamics* - CFD). Ele resolve numericamente uma das equações de *Navier-Stokes* apropriada para baixa velocidade, com fluxo termicamente dirigido e com ênfase no transporte de calor e fumaça dos incêndios. O Smokeview é um programa de visualização que é usado para mostrar os resultados da simulação FDS.

É importante salientar que ambos os programas são gratuitos e livres, permitindo sua adaptação à realidade brasileira, inserindo padrões de materiais para construção adequados ao local onde o edifício será implantado. Além disso, existem aplicações produzidas por terceiros para facilitar a entrada de dados no FDS e a importação de arquivos de CAD. Podemos destacar o PYROSIM, que fornece uma interface gráfica ao usuário para inserir a geometria do ambiente a ser simulado, permite a importação de projetos DXF do AutoCad e integra a execução do FDS e Smokeview.

Todos os parâmetros de entrada requeridos pelo FDS para descrever um cenário de incêndio em particular são transmitidos por meio de um arquivo de texto puro criado pelo usuário. Neste arquivo de entrada devem constar informações acerca do domínio físico e computacional, a geometria do ambiente e dos objetos, as propriedades físico-químicas dos materiais, bem como especificações sobre a reação de combustão e dados de saída a serem gravados. (BRAGA & CAMPOS, 2010, p.7)

O modelamento computacional de incêndio pode utilizar dois métodos: o método probabilístico e o método determinístico (Karlsson & Quintiere, 2000).

No método probabilístico não se faz uso direto dos princípios físicos e químicos envolvidos no fogo, mas sim, de previsões estatísticas sobre a transição de um estágio para outro do crescimento do incêndio. Envolve a distribuição de probabilidades de determinados eventos ocorrerem a partir de um cenário especificado. As probabilidades de evolução do fogo de uma fase para outra são determinadas a partir do conhecimento de dados experimentais e de dados estatísticos de ocorrências reais. (ALVES, BRAGA & CAMPOS, 2008)

O método determinístico utiliza princípios físicos e químicos sobre a natureza do incêndio. Este método divide-se em diversas categorias, de acordo com o tipo de problema a ser investigado. Por exemplo, transporte de calor e de fumaça, ativação de sistemas automáticos de combate (sprinklers) e de detectores de incêndio, evacuação de pessoas e perfis de temperatura em elementos estruturais. Especificamente, quanto ao transporte de calor e de fumaça no incêndio, são usadas duas classes de modelamentos computacionais: modelos de camadas (ou duas zonas) e modelos de campos (ou CFD- *computational fluid dynamics*). (op. cit.)

Os métodos probabilísticos podem ser combinados com os métodos determinísticos para dar origem a métodos híbridos. Esse método é aplicado na avaliação de riscos e análise de incertezas nos métodos determinísticos. (op. cit.)

Os modelos computacionais determinísticos mais sofisticados são os modelos de campos (ou CFD). A técnica de modelamento via dinâmica de fluidos computacional (CFD) é adotada em diversas áreas da engenharia e é baseada na solução completa, tri-dimensional e dependente do tempo das equações fundamentais de conservação de massa, de energia e de momento. O uso de modelos CFD permite descrever incêndios em geometrias complexas e incorporar uma grande variedade de fenômenos físicos. (op. cit.)

No modelo de campos o ambiente incendiado é dividido em subvolumes (células). As equações de conservação são aplicadas a cada célula. No presente modelo a conservação de momento é explicitamente imposta. Assim, variáveis adicionais (as componentes da tensão viscosa devido ao escoamento do fluido) surgem no conjunto de equações. A substituição destas na equação de conservação de momento (segunda lei de Newton aplicada ao escoamento do fluido) resulta nas conhecidas equações de Navier-Stokes e a solução destas é central para qualquer algoritmo de CFD. (op. cit.)

Para a realização das simulações computacionais de incêndio será utilizado o FDS (*Fire Dynamics Simulator*), acima especificado.

#### **4.2.1.2 Simulação computacional de evacuação em caso de incêndio**

Os modelos computacionais de evacuação são ferramentas importantes para a avaliação dos projetos de arquitetura no que concerne à segurança das pessoas, pois permite calcular o tempo de fuga dos ocupantes de uma edificação. O tempo necessário para a evacuação deve ser menor do que o tempo disponível para a fuga. Para estimar o tempo de evacuação, o arquiteto possui uma quantidade enorme de modelos, desde resolução de equações simples, até mesmo modelos computacionais que simulam o comportamento humano em caso de fuga. (ALVES, BRAGA & CAMPOS, 2008)

Assim como os modelos de propagação do incêndio podem prever a movimentação da fumaça através de uma construção, os modelos de evacuação podem prever a movimentação das pessoas em um prédio no caso de fuga. Usando esses modelos em conjunto, é possível para o projetista verificar os riscos a que as pessoas estão envolvidas ainda na fase de elaboração do projeto. (op. cit.)

Antes mesmo de pensar nos métodos de cálculo do tempo para a evacuação, é necessário primeiro a compreensão das componentes do tempo total de evacuação. A contagem deste tempo inicia-se na eclosão do incêndio, ou seja, a ignição, terminando com a saída de todas as pessoas do prédio.

De acordo com o SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (SFPE, 2002), podemos estimar o tempo total de evacuação<sup>47</sup> como sendo a soma dos tempos de detecção, alarme, reação e do movimento de fuga propriamente dito, como mostrado no Gráfico 8.

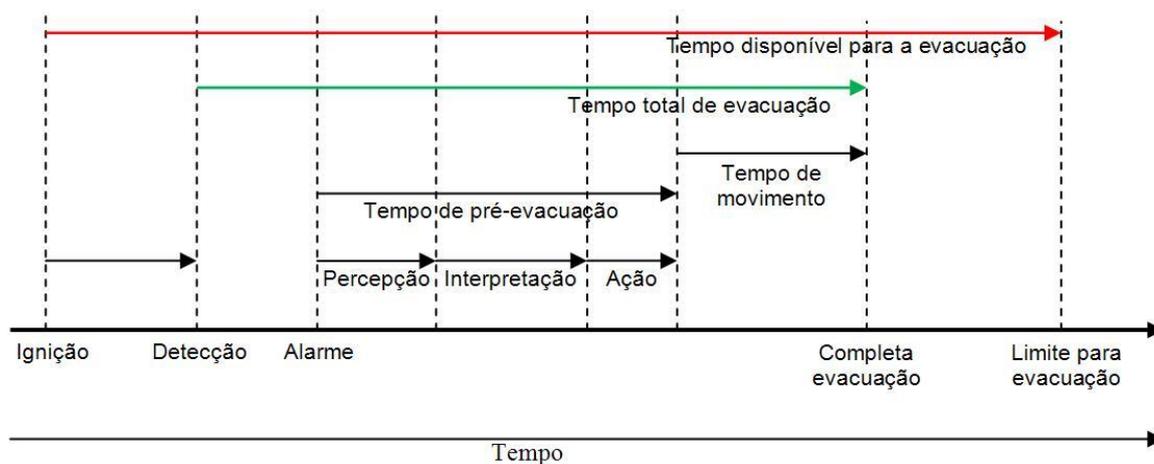


Gráfico 8 – Tempo total de evacuação e seus componentes

Fonte: Handbook of Fire Protection Engineering (SPFE,2002)

<sup>47</sup> Também descritos no Capítulo 3, no artigo da arquiteta Paula Etrusco.

O tempo de detecção é o tempo necessário para que o incêndio seja percebido, seja por sistemas automáticos de detecção ou por uma testemunha. O tempo de detecção pode, em vários casos, se dar segundos após a ignição. Esse tempo de detecção depende de diversos fatores, entre os quais as características físicas do sistema de detecção e sua localização em relação à fonte de calor ou de fumaça. Quanto mais rápida for a detecção, maior a chance de o incêndio ser debelado e maior será o tempo disponível para a evacuação.

O tempo de alarme é medido entre a detecção e o momento que as pessoas são avisadas. Este aviso também pode ser por sistemas automáticos ou mesmo pelos brigadistas de incêndio. Atualmente, para o caso de dispositivos automáticos de detecção e alarme, esses tempos são facilmente estimados com a utilização dos modelos de propagação do fogo, principalmente resultantes das simulações computacionais e de testes de detecção de fumaça e temperatura. A reação ao alarme não é imediata, o primeiro movimento das pessoas em direção a uma saída de emergência se dá com um atraso, denominado tempo de pré-movimento (ou tempo de pré-evacuação).

O tempo de pré-movimento tem sido estudado de duas maneiras: por meio do acompanhamento de exercícios de evacuação e por meio de entrevistas aplicadas a vítimas de sinistros.

Antigamente esses tempos eram completamente negligenciados, pois era presumido que todos os ocupantes, assim que tomassem conhecimento da ocorrência de um incêndio, começariam a evacuar o prédio instantaneamente. A partir de relatórios de vítimas de incêndio, foi verificado que sempre existia um tempo entre o alarme e o início do movimento de fuga, mostrando claramente que as pessoas não agiam da forma esperada nos modelos mais antigos. Por conta disso, se tornou lógico adicionar algum tempo entre o alarme da ocorrência do incêndio e o início da fuga. Atualmente, vários trabalhos estão sendo publicados, inclusive como referência para as simulações computacionais de evacuação. Como o tempo de reação depende basicamente do comportamento humano, é necessária a realização de testes e ensaio para estimá-lo, principalmente para o caso do Brasil, onde os dados são escassos, ou até mesmo inexistentes. (ETRUSCO; GOUVEIA, 2002)

Geralmente, as pessoas não reagem imediatamente a um alarme sonoro de incêndio, pois ele suscita dúvida, gastando um tempo precioso para reconhecimento desse alarme e para uma tomada de atitude. (BRAGA & CAMPOS, 2010)

Deve-se destacar também que as pessoas procuram a saída mais familiar, aquela que é observada no dia a dia, visto que a saída de emergência, muitas vezes, não está na rota comum do indivíduo, o que não deveria acontecer em projeto.

As principais características que influenciam no atraso para o início da evacuação são: tipo de sistema de alarme aos ocupantes; leiaute da edificação; treinamento da população e da brigada contra incêndio; frequência de alarmes falsos; familiaridade com a edificação; formação de grupos por laços emotivos (famílias); comprometimento em outras atividades; horário da ocorrência; e nível de alerta e capacidade dos ocupantes. (BRAGA & CAMPOS, 2010)

O tempo de pré-movimento pode ser estimado adotando-se o documento BS 7974. No caso de escritórios esse tempo é definido em 180 s considerando evacuação não orientada. (SOUZA, 2007)

O tempo que a população da edificação gasta durante a passagem pelas saídas é o tempo de movimento de evacuação. E o tempo necessário para o escape de toda a população da edificação é dado pela soma dos tempos de detecção, alarme, pré-movimento e tempo de movimento de evacuação.

É importante lembrar que o dimensionamento das saídas é de extrema importância para o escape seguro da população do edifício.

Conforme o manual do FDS + EVAC (KORHONEN & HOSTIKKA, 2010), a largura dos ombros e a espessura da parte frontal até a parte dorsal de uma pessoa são representadas por uma elipse cujo eixo maior vale aproximadamente 0,60 m e o eixo menor 0,46 m. Essa elipse corporal ocupa cerca de 0,276 m<sup>2</sup>.

A NBR 9077/2001, contradizendo o que considera o *software* FDS, adota uma unidade de passagem de 55cm, isto é, a largura mínima de saída, considerando a largura de ombro a ombro de um corpo humano adulto.

“No entanto, existe uma variação do movimento, determinada pelo sexo e idade da pessoa, pelo sentido da evacuação, se em subida ou em descida, e pelo leiaute dos pavimentos.” (BRAGA & CAMPOS, 2010, p. 6)

Para calcular o tempo de movimento é possível a utilização de equações de movimento simples, onde é estimado o tempo a partir da distância e da velocidade média de deslocamento, ou por modelos computacionais, que podem ser apenas de movimento de escoamento ou que leve em consideração o comportamento humano. Em um estudo comparativo de 28 modelos computacionais de simulação de evacuação Erica Kuligowski (2004) dividiu os modelos em de movimento (FPETool, EVACNET4, Takahashi's Fluid Model, PathFinder, TIMTEX, WAYOUT, Magnetic Model, EESCAPE, EgressPro, ENTROPY Model e STEPs), parcialmente comportamental (PEDROUTE/PAXPORT, EXIT89, Simulex, GridFlow e ALLSAFE), e comportamental (CRISP, ASERI, BFIRES-2, buildingEXODUS4, EGRESS, EXITT, VEGAS, E-SCAPE, BGRAF, EvacSim, Legion).

Dentre esses programas apresentados, podemos destacar o Simulex e o BuildingExodus, utilizado aqui no Brasil pela Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo.

Para este trabalho será utilizado o EVAC, que é um módulo de evacuação do FDS, desenvolvido pelo VTT, que permite simular simultaneamente o movimento de evacuação e o incêndio, pelo FDS.

É importante notar que os modelos computacionais poderão fornecer valiosas informações sobre o movimento de pessoas quando da evacuação de um prédio, verificando-se pontos de estrangulamento e se as saídas estão bem posicionadas ou se são suficientes para o tipo de edifício, fazendo com que elas sejam efetivamente utilizadas em um caso de emergência. Todas essas informações são essenciais para a elaboração de um projeto que leve em conta a segurança das pessoas que irão utilizar a edificação.

#### **4.2.2 Verificação e comprovação da hipótese**

A verificação e comprovação da hipótese deram-se através da comparação dos resultados obtidos das simulações computacionais de incêndio e de evacuação dos ocupantes do edifício.

#### 4.2.2.1 Dados gerais dos edifícios inseridos nas simulações

As saídas de emergências foram as primeiras a serem consideradas para a simulação. Acreditou-se que a partir do momento que as pessoas entrassem nelas já estariam protegidas e sairiam do edifício com segurança.

Para a realização das simulações adotou-se somente o movimento de evacuação e a propagação da fumaça em um dos pavimentos dos edifícios, considerando, em uma das simulações, a influência da circulação de ar natural que entra nos escritórios horizontalmente. Nestas condições, há como comparar os resultados das simulações nos pavimentos escolhidos para cada prédio.

Considerou-se o pavimento de maior área (pavimento-tipo do 2º ao 11º andar) para o Bloco C do Complexo Brasil 21 e os nomes adotados para as saídas estão na Figura 114.

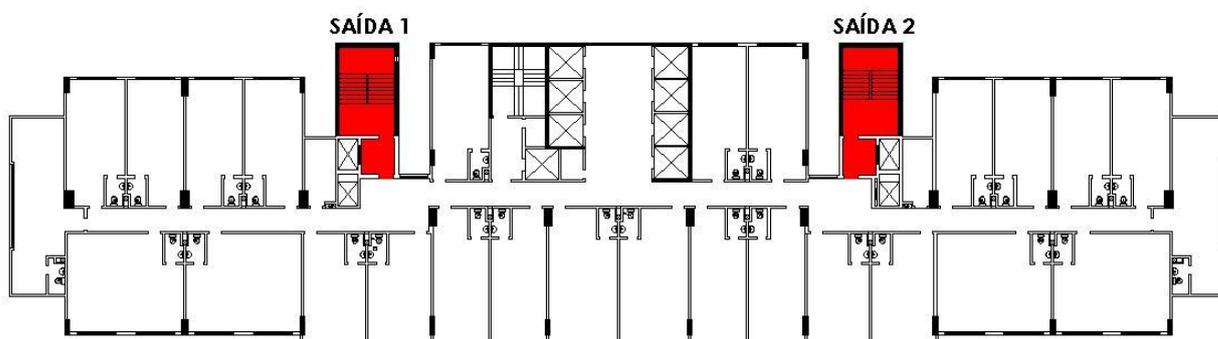


Figura 114 – Planta baixa do Bloco C do Brasil 21 com indicação das saídas.

Fonte: Planta adaptada de plantas executivas cedidas pela administração do edifício.

Foram consideradas somente as escadas a prova de fumaça pressurizada, dimensionadas conforme a NBR 9077/2001, desconsiderando a escada de serviço.

Já o Commerzbank possui três escadas de emergência que foram chamadas de Saídas 1, 2 e 3, também do tipo à prova de fumaça pressurizada.

Foi considerado para este trabalho o leiaute com estações de trabalho ao centro, tirando o aspecto de corredor. (Figura 115)

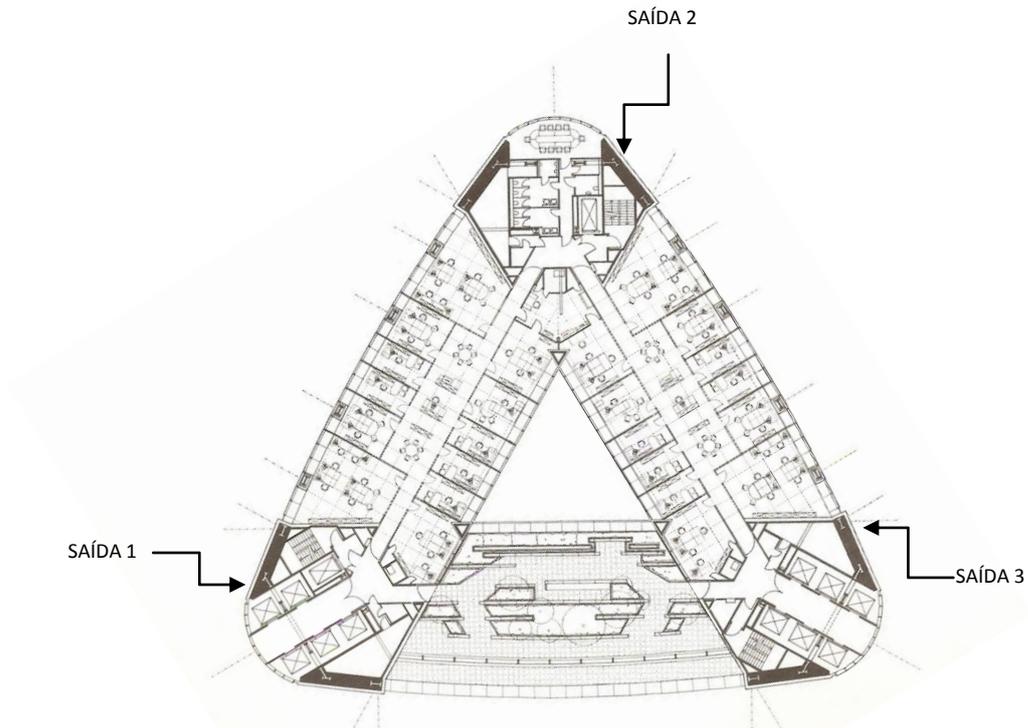


Figura 115 – Planta baixa Commerzbank Tower com indicação das saídas.

Fonte: Adaptado de Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.

Para o cálculo da população considerou-se o que prescreve a NBR 9077/2001, Tabela 5 – Dados para o dimensionamento das saídas. (Quadro 11)

Quadro 11 – Cálculo da população para ambiente de escritórios.

Ocupação		População
Grupo	Divisão	
[...]		
D	-	Uma pessoa por 7,00m <sup>2</sup> de área

Fonte: NBR 9077/2001 – Anexo – Tabelas – Tabela 5.

O número total de pessoas de cada edifício por pavimento está representado no quadro a seguir.

Quadro 12 – Número de pessoas por pavimento.

<b>Edifício</b>	<b>População por pavimento</b>
Bloco C – Brasil 21	146
Commerzbank Tower	130

Fonte:

Considerou-se também que as divisórias são resistentes ao fogo, para melhor visualização do movimento da fumaça.

Outros pontos importantes são os tempos de pré-deteção e pré-movimento que foram considerados quase zero, mesmo sabendo que a reação das pessoas não é imediata, lembrando o que é adotado pelo documento BS 7974 no caso de escritórios: 180s para evacuação não orientada (SOUZA, 2007). Isto porque observou-se que para as simulações de movimento de evacuação, sem incêndio, o tempo de 180s foi suficiente para a saída de todas as pessoas do pavimento (sem tempo de pré-deteção e pré-movimento), desconsiderando retenção ou lentidão na entrada da escada de emergência, que provavelmente aconteceria se existissem outras pessoas nas escadas vindas de outros pavimentos.

O fato dos pavimentos dos dois edifícios estarem também praticamente tomados pela fumaça em 180 segundos nas simulações de incêndio fez com que se adotasse o tempo de pré-movimento quase zero e o tempo de simulação de 180 segundos.

As características das pessoas da edificação foram consideradas segundo os padrões do programa EVAC – Adultos (mulheres e homens) – em condições físicas normais.

O material da queima escolhido foi o Poliuretano, padrão do FDS, o qual produz bastante fumaça, visto que os materiais presentes em escritórios são bastante inflamáveis, como madeira, sintéticos e papéis.

O local escolhido para a colocação do queimador, isto é, do foco de incêndio, foi buscado pela posição mais central à área de trabalho em ambos os edifícios.

Para as simulações com a aplicação da ventilação foram considerados os dados climáticos de cada cidade, juntamente com a velocidade.

Primeiramente, considerou-se a estação do ano, cuja temperatura atinge índices mais elevados, porque a ventilação corresponde a uma estratégia de resfriamento natural do ambiente, relacionada diretamente com a temperatura. Para os dois edifícios a estação do ano considerada foi o Verão (para Brasília, hemisfério sul, meses de janeiro, fevereiro e março – para Frankfurt, hemisfério norte, meses de junho, julho, agosto). (Quadro 13)

Quadro 13 – Dados climáticos para as cidades de Brasília e Frankfurt.

	<b>Brasília – DF - Brasil</b>	<b>Frankfurt am Main – Alemanha</b>
<b>Clima</b>	Tropical de altitude	Temperado úmido
<b>Temperatura média (verão)</b>	21.6° C (dez – jan – fev)	18° C (jun – jul – ago)

Fonte: Para Brasília – Normais Climatológicas (1961-1990), Brasília, 1992.

Para Frankfurt – [www.suapesquisa.com/cidadesdomundo/frankfurt.htm](http://www.suapesquisa.com/cidadesdomundo/frankfurt.htm)

Para dados de ventilação, considerou-se a Rosa dos Ventos para a cidade de Brasília. (Figura 124)

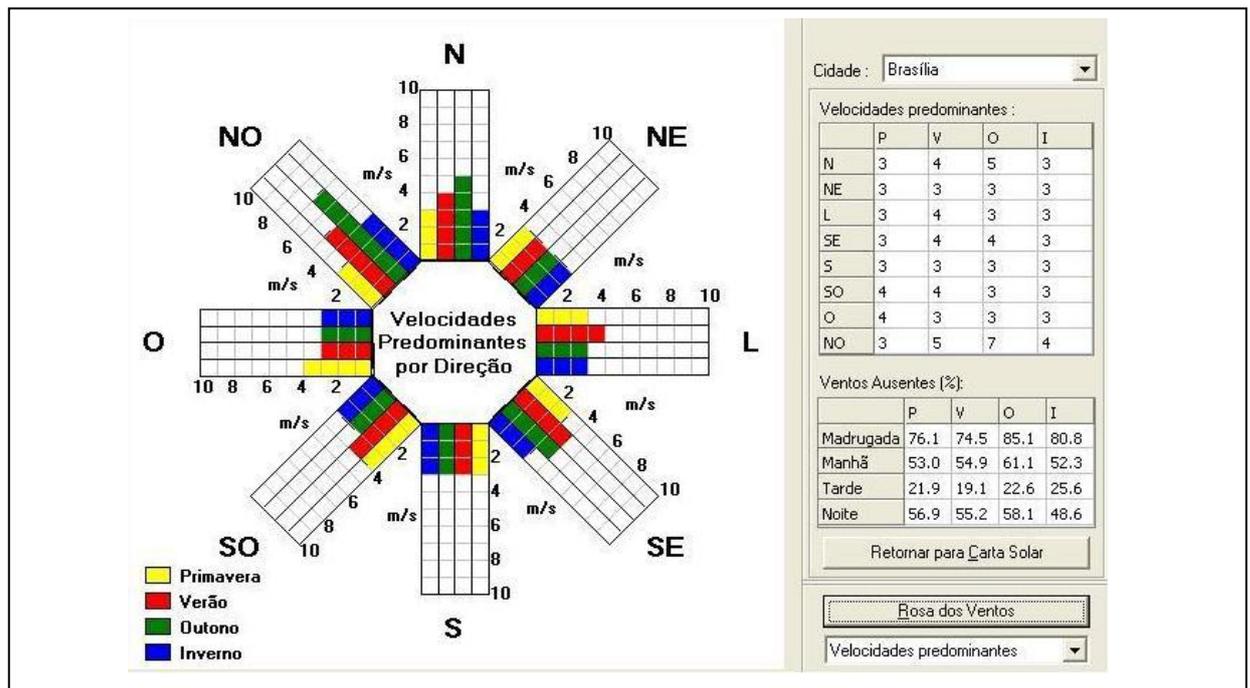


Figura 116 – Rosa dos Ventos para Brasília-DF.

Fonte: Programa SoLar.

Considerou-se a velocidade de 5m/s a Noroeste (maior velocidade no verão de Brasília).

Para o valor da ventilação de Frankfurt, considerou-se uma média dos valores de ventilação para os meses de junho, julho e agosto, concluindo que a velocidade adotada seria de 7m/s a Sudoeste.

Juntamente com essas informações considerou-se também a velocidade da ventilação média de conforto para ambientes de escritórios, que, segundo Corbella e Yannas (2003), é de 0,5m/s.

#### 4.2.2.2 Comprovação da hipótese (resultado das simulações)

Foram realizadas três tipos de simulação para cada edifício:

- 1) Simulação somente de evacuação (sem incêndio) no pavimento de maior área;
- 2) Simulação de evacuação e incêndio – pavimento de maior área sem a entrada de ventilação externa;
- 3) Simulação de evacuação e incêndio – pavimento de maior área recebendo ventilação externa ao edifício.

Para cada tipo de simulação foram realizadas três simulações. Os resultados de cada uma das três simulações foram analisados pelas tabelas produzidas e calculou-se a média entre elas para efeitos comparativos desta pesquisa.<sup>48</sup>

Para a elaboração dos desenhos tridimensionais (geometria) e dos *inputs* (visualizados pelo programa “Bloco de Notas”), que serão executados pelo *software* FDS, foi utilizado o *software* Pyrosim, inserindo dados a partir de arquivos *.dxf* produzidos por aplicativo do programa AutoCAD.

##### 4.2.2.2.1 Análise comparativa entre os resultados das simulações do Bloco C do Edifício Brasil 21

A primeira simulação realizada foi somente de evacuação, sem considerar a ocorrência de incêndio para o Bloco C do Brasil 21, para verificação do tempo que as pessoas gastam para chegar até a entrada de uma das saídas de emergência. (Figuras 117, 118 e 119)

---

<sup>48</sup> Vide CD anexo com os “input” das simulações e os vídeos produzidos através da captura de imagens do visualizador do FDS, o Smokeview.



Figura 117 – Imagem da simulação de evacuação no tempo de 10s.

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.



Figura 118 – Imagem da simulação de evacuação no tempo de 30s.

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

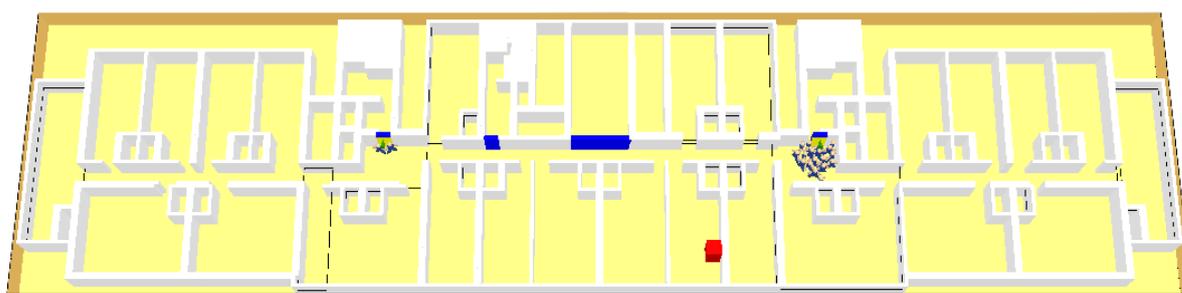


Figura 119 – Imagem da simulação de evacuação no tempo de 1 minuto.

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Com o tempo de 1 minuto e 19 segundos, a população total do pavimento já havia atingido as saídas de emergência.

O Gráfico 9 mostra o número de pessoas que saíram do pavimento em cada uma das saídas de emergência.

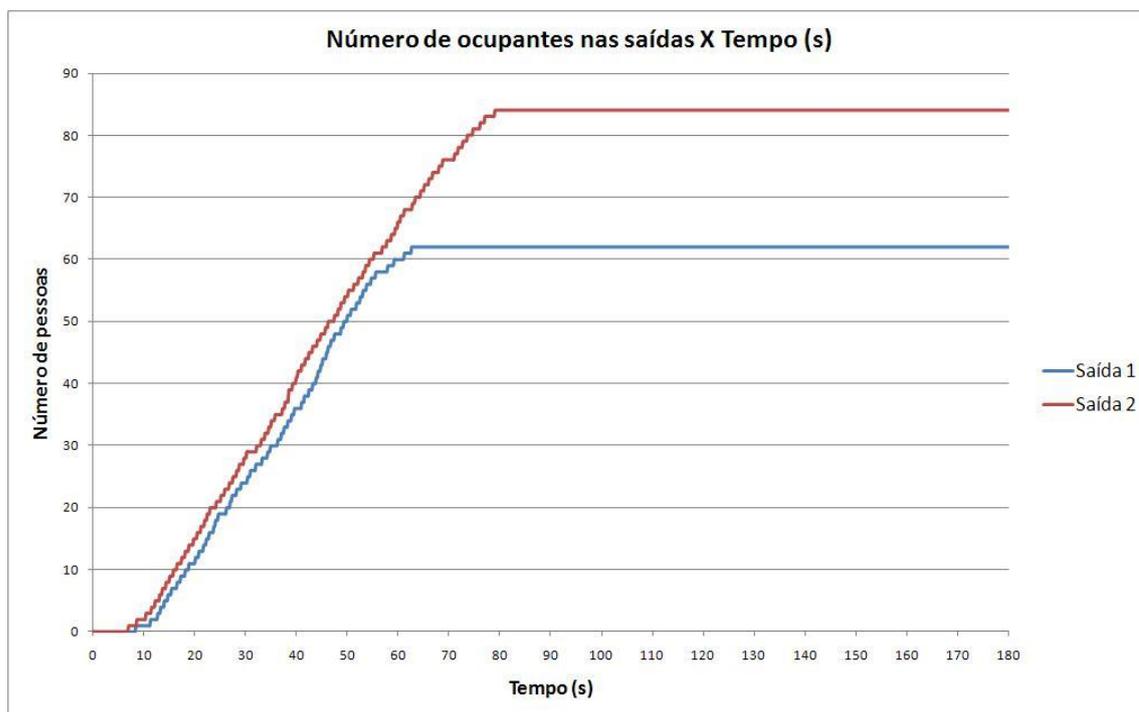


Gráfico 9 – Número de pessoas por saída de emergência x Tempo (s)

Fonte: Da autora.

Pelo Gráfico 9, foram 62 pessoas (42,45%) que saíram pela Saída 1 em 62,65 segundos e 84 pessoas (57,55%) saíram pela Saída 2 em 79 segundos.

Para as simulações de incêndio, é considerado o pé-direito de 2,40m em ambos os edifícios, que está de acordo com os projetos. Este dado é importante devido aos resultados obtidos pela propagação da fumaça nos pavimentos.

As portas das salas de todo o pavimento estão totalmente abertas.

A segunda simulação realizada considera o incêndio no movimento de evacuação. Neste caso, não há ventilação externa entrando pelas aberturas (janelas) do pavimento. Para este trabalho considera-se esta simulação de nome: AMBIENTE FECHADO.

A terceira simulação considera também o incêndio e a evacuação, mas há a presença de ventilação dentro do pavimento proveniente dos ventos externos a noroeste da edificação. Esta simulação será chamada de: AMBIENTE ABERTO.

Para o dimensionamento das aberturas das janelas, que são do tipo maximizar, foi considerada a abertura máxima na horizontal (por causa deste tipo de esquadria) e transferida 'retangularmente' para as paredes, adequando à geometria do *software* FDS.

As figuras a seguir, capturadas do visualizador *Smokeview*, mostram os resultados das duas simulações, fazendo uma comparação entre elas.

Em 5 segundos de simulação tem-se o que ilustra as figuras 120 e 121.



Figura 120 – Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 5s (ambiente fechado).

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – *Smokeview*.



Figura 121 – Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 5s (ambiente aberto).

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – *Smokeview*.

Em 17 segundos o hall de entrada da Saída 2 estava com bastante fumaça e já invadindo o hall de entrada da Saída 1, no AMBIENTE FECHADO. (Figura 122)

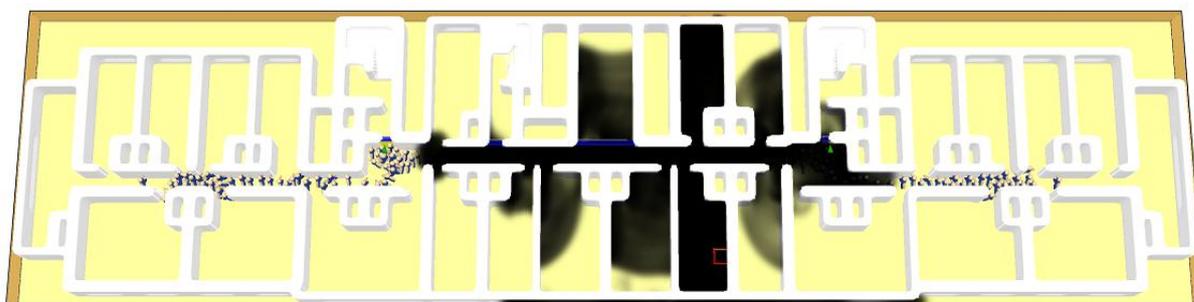


Figura 122 - Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 17s (ambiente fechado)  
Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

O que no AMBIENTE ABERTO já não acontece. A fumaça ainda não ocupou totalmente o hall de entrada da Saída 2, os ocupantes estão em melhores condições. A Saída 1 se encontra nas mesmas condições do AMBIENTE FECHADO. (Figura 123)

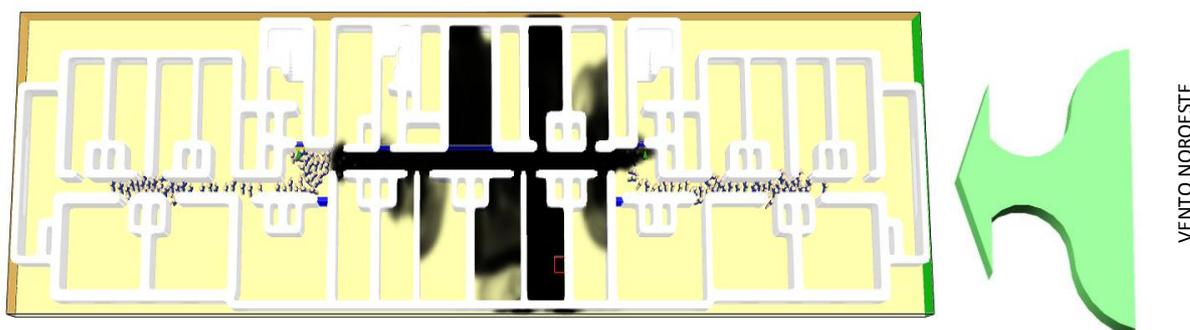


Figura 123 - Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 17s (ambiente aberto)  
Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Embora a fumaça invada as escadas de emergência, considerou-se para esta pesquisa que as pessoas que as atingem estão devidamente protegidas.

Com 23 segundos de simulação, a fumaça tomou conta do hall de entrada da Saída 1, além de estar presente em várias salas do pavimento (AMBIENTE FECHADO). (Figura 124)



Figura 124 - Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 23s (ambiente fechado).  
Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Comparando com o AMBIENTE ABERTO (Figura 125), já no tempo de 30 segundos a fumaça já começa a invadir as salas à esquerda da Saída 1, e a Saída 2 encontra-se praticamente nas mesmas condições do tempo de 17s do AMBIENTE FECHADO.

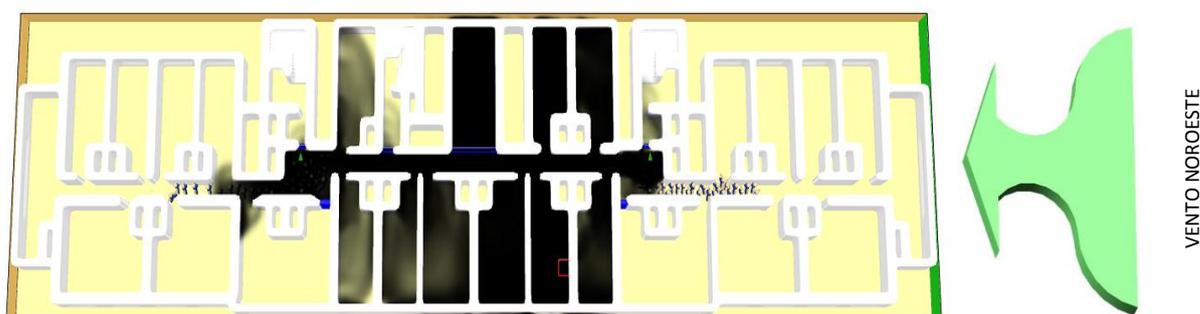


Figura 125 - Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 30s (ambiente aberto).  
Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Com um minuto de simulação o pavimento está quase todo tomado pela fumaça no AMBIENTE FECHADO (Figura 126), o que para o AMBIENTE ABERTO (Figura 127) as salas à direita da Saída 2, onde as pessoas ainda encontram condições de saída, não foram invadidas pela fumaça.

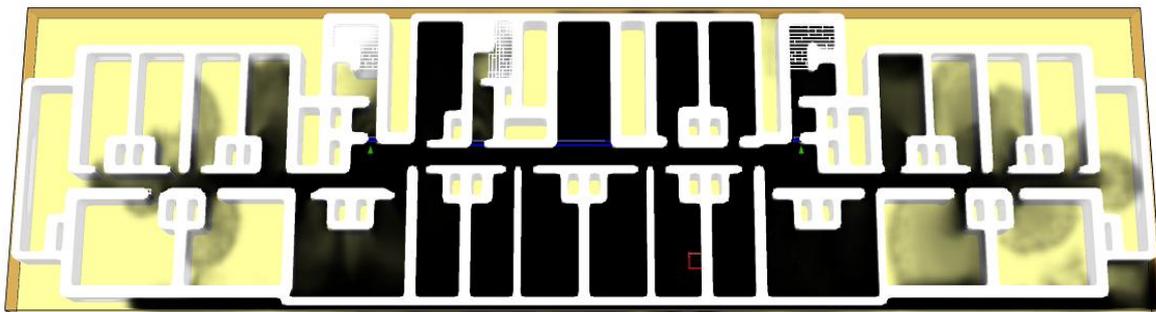


Figura 126 - Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 60s (ambiente fechado).  
Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.



Figura 127 - Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 60s (ambiente aberto).  
Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

As Figuras 128 e 129 representam as simulações no tempo de 2 minutos.

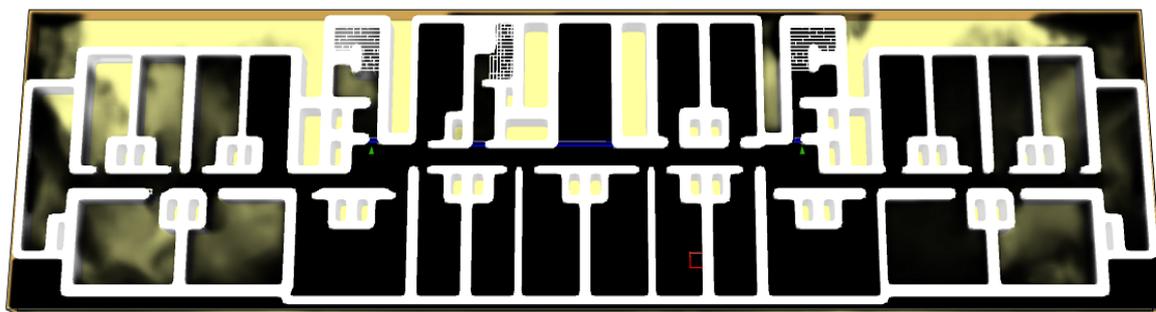


Figura 128 - Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 120s (ambiente fechado).  
Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

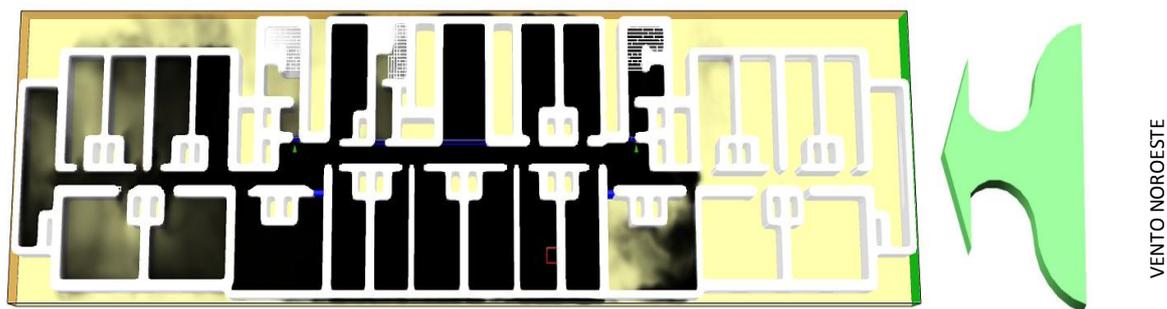


Figura 129 - Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 120s (ambiente aberto)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Observa-se que no tempo de 2 minutos de simulação, as salas à direita da Saída 2 ainda estão preservadas, sendo invadidas mais lentamente pela fumaça do que à esquerda do pavimento.

Para o tempo final de simulação considerado neste trabalho, 3 minutos (180s), tem-se as Figuras 130 e 131.

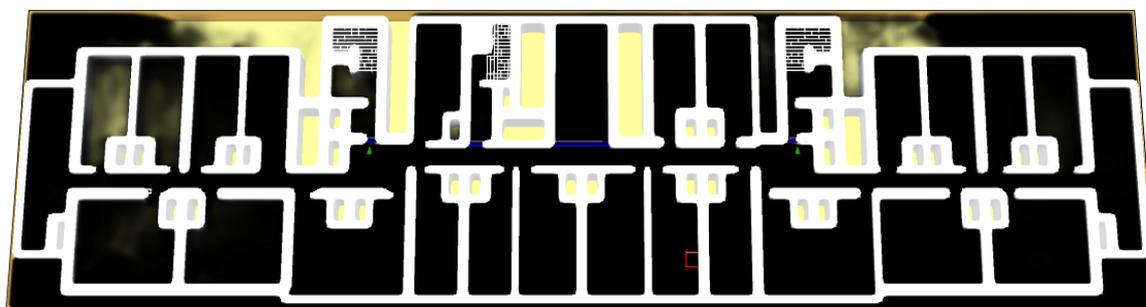


Figura 130 - Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 180s (ambiente fechado).

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

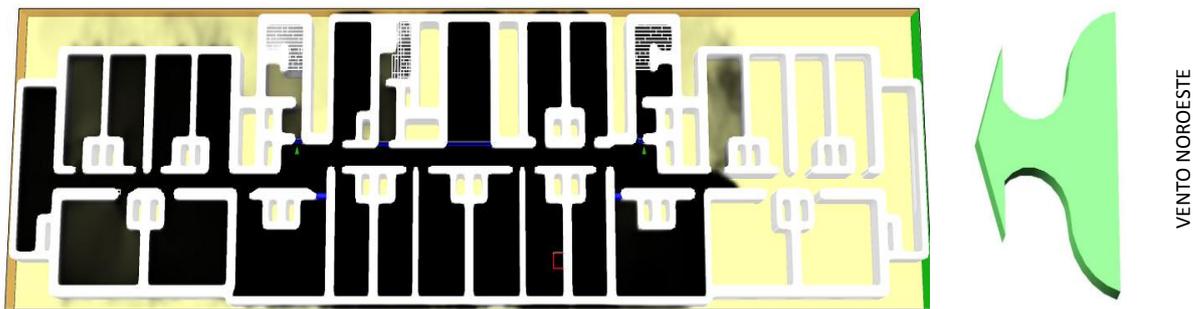


Figura 131 - Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 180s (ambiente aberto).  
 Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Comparando-se com o movimento de evacuação nos dois casos, os Gráficos 10 e 11 apresentam os resultados obtidos.

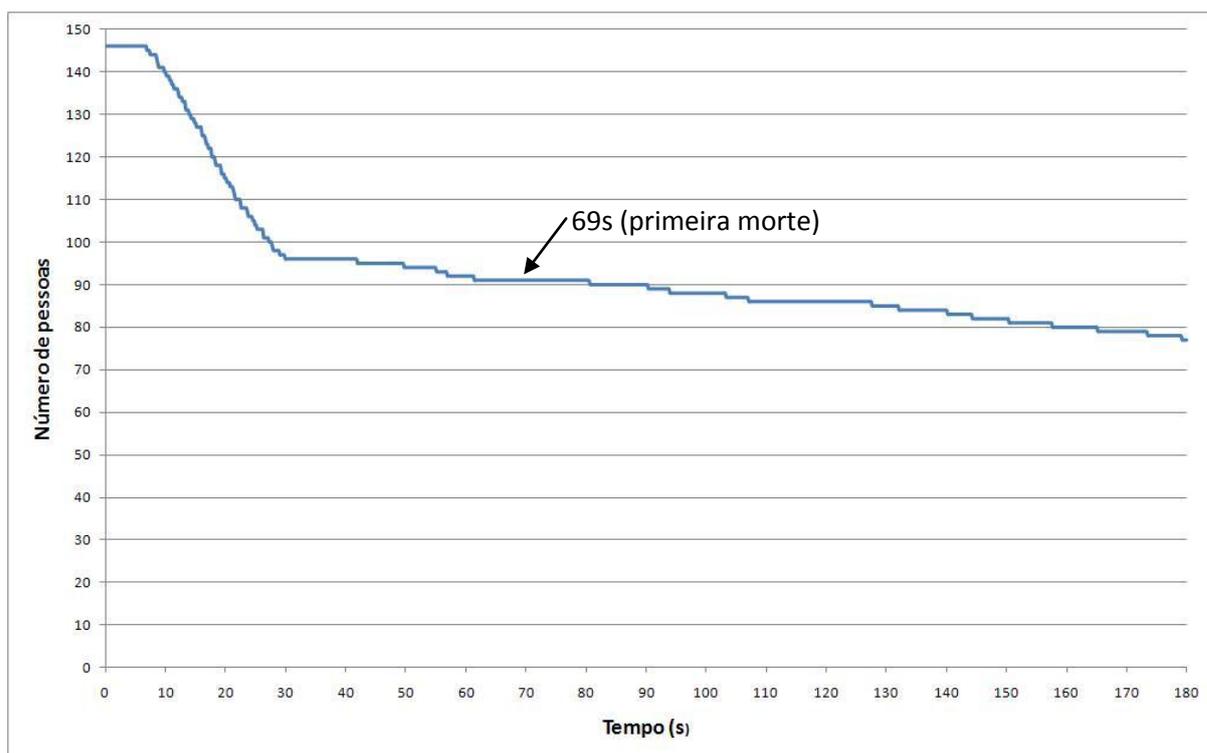


Gráfico 10 – Número total de pessoas que estão no pavimento X Tempo (s) (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Da autora.

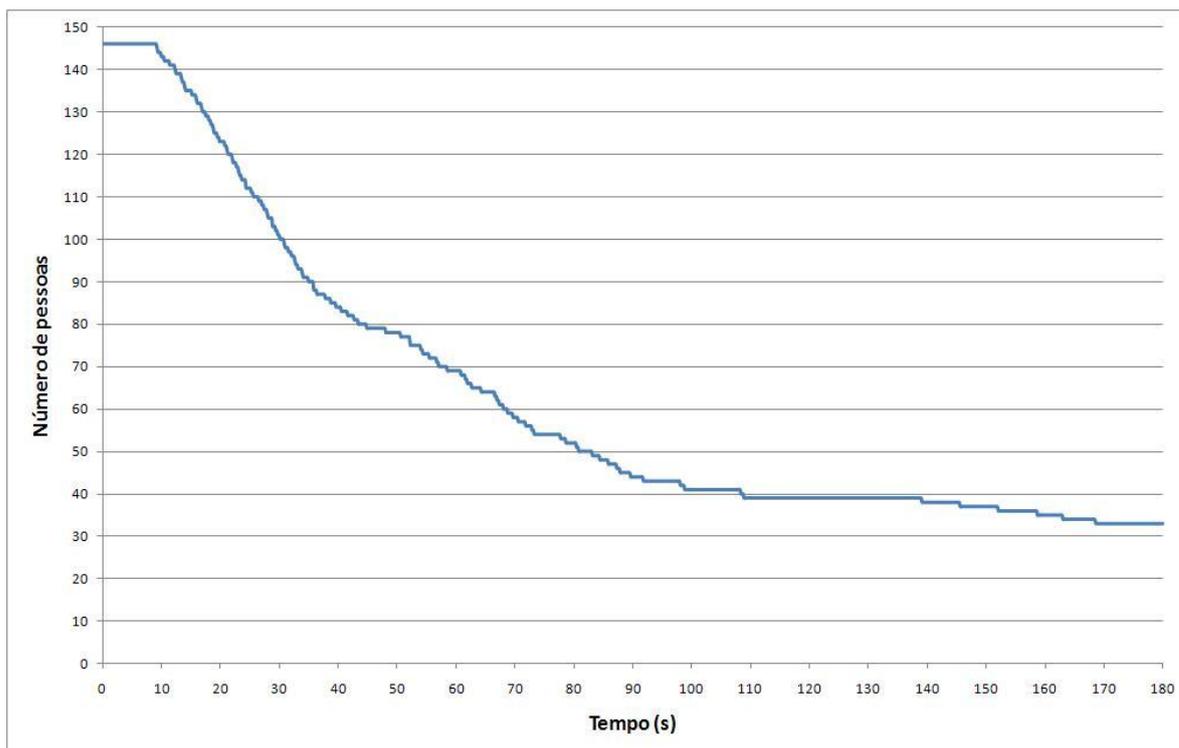


Gráfico 11 – Número total de pessoas que estão no pavimento X Tempo (s) (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Da autora.

No Gráfico 10, há um decréscimo de velocidade de movimentação dos ocupantes do pavimento devido a presença da fumaça no tempo de 30s.

Segundo dados da simulação, a partir de 69 segundos (no AMBIENTE FECHADO) já há vítima fatal, devido as condições dos ambientes enfumaçados, com quantidade de gases tóxicos (CO, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>).

A tabela a seguir demonstra, numericamente, a quantidade de pessoas que conseguiram alcançar as saídas de emergência durante o tempo de simulação.

Tabela 5 – Número de pessoas que alcançaram a saída de emergência – resultado das três simulações.

Tempo (s)	Número de pessoas que alcançaram a saída de emergência					
	Simulação 1 Somente evacuação		Simulação 2 Ambiente Fechado		Simulação 3 Ambiente Aberto	
17	19	13%	24	16%	16	11%
30	52	36%	50	34%	46	32%
60	126	86%	54	37%	77	53%
79	146	100%	55	38%	94	64%
120	-	-	60	41%	107	73%
150	-	-	64	44%	109	75%
180	-	-	69	47%	113	77%

Fonte: Da autora.

Constata-se que, a fumaça realmente retarda e influencia o movimento de evacuação dentro do pavimento. Nota-se também que a situação de AMBIENTE ABERTO parece mais favorável à movimentação da fumaça do que em AMBIENTE FECHADO.

Observando as figuras, ilustradas anteriormente, da simulação 3, nota-se que a ventilação aplicada a noroeste do pavimento retarda significativamente, em relação a simulação 2, a propagação da fumaça na direção à direita do pavimento. Isto também contribuiu com as condições da Saída 2, o que pode ser melhor visualizado pela comparação entre os Gráficos 12 e 13.

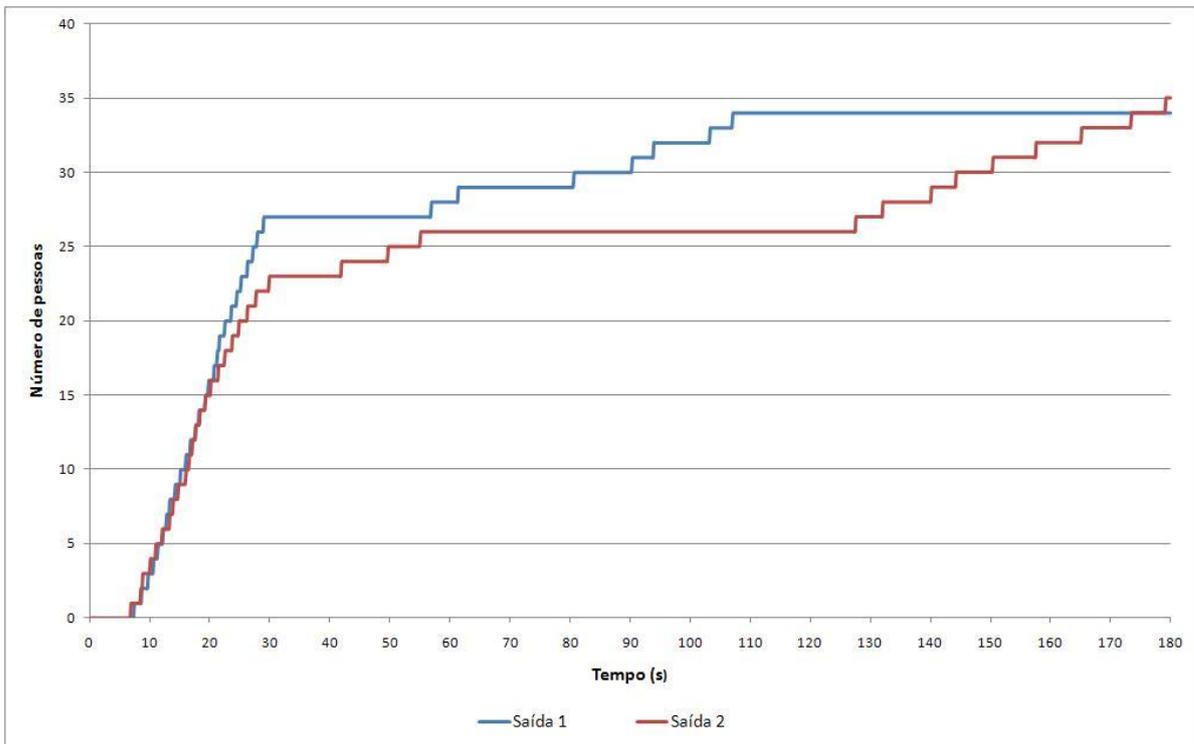


Gráfico 12 – Número de pessoas por saída X Tempo (s) (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Da autora.

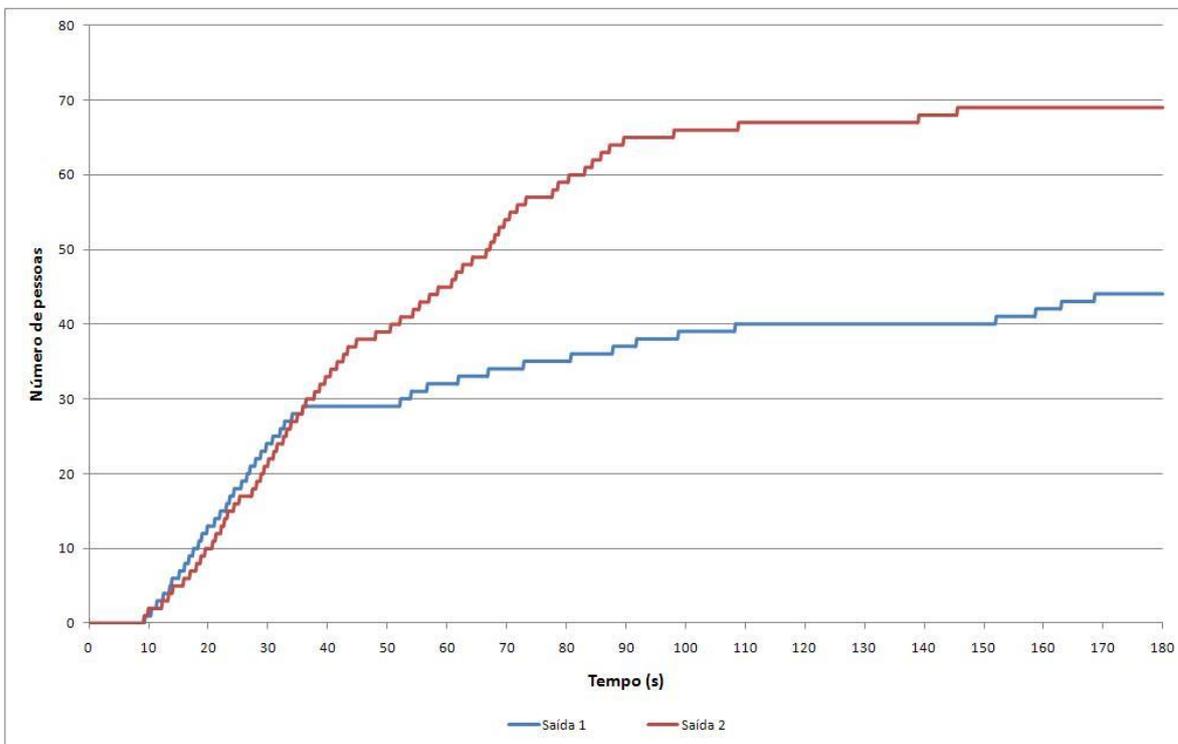


Gráfico 13 – Número de pessoas por saída X Tempo (s) (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Da autora.

Observa-se também que a procura pela Saída 2 na simulação 3 foi bem maior em relação às outras simulações. Acredita-se que isso ocorreu devido ao maior tempo que a fumaça gastou para atingir o hall da Saída 2, por causa da ventilação natural presente no pavimento. (Tabela 6)

Tabela 6 – Número de pessoas que atingiram as Saídas 1 e 2, nas três simulações.

Simulações	Número de pessoas que atingiram uma saída de emergência		
	Saída 1	Saída 2	Total
<b>Simulação 1</b> <b>Somente evacuação</b>	62 (42%)	84 (58%)	146 (100%)
<b>Simulação 2</b> <b>Ambiente Fechado</b>	34 (49%)	35 (51%)	69 (100%) (47% do total)
<b>Simulação 3</b> <b>Ambiente Aberto</b>	44 (39%)	69 (61%)	113 (100%) (77% do total)

Fonte: Da autora.

Outro fator que deve ser levado em consideração, nesses casos é a altura até a camada de fumaça ( $Z$ )<sup>49</sup>. O pé-direito nesse pavimento é de 2,25 metros (piso ao forro).

Através das simulações 2 e 3, onde ocorrem incêndio, foram coletados dados da camada de fumaça em alguns pontos no pavimento. (Figura 132)

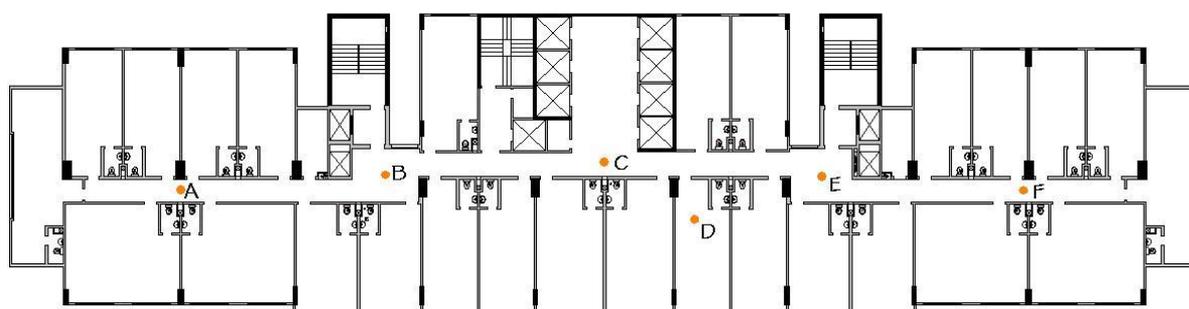


Figura 132 – Planta baixa do pavimento com indicação dos pontos para coleta de dados de camada de fumaça

Fonte: Planta adaptada de plantas executivas cedidas pela administração do edifício.

<sup>49</sup> Valor de  $Z$  (altura do piso ao plume) – Vide Capítulo 3.

Os gráficos a seguir, para o AMBIENTE FECHADO e para o AMBIENTE ABERTO, comprovam que a fumaça torna mais difícil a movimentação das pessoas dentro do pavimento, pois a fumaça na maior parte do tempo está a uma altura menor que a altura média de uma pessoa considerada nas simulações, que é de 1,60 metros.

Os gráficos 14 e 15 mostram a altura até a camada de fumaça nos *halls* das saídas de emergência (B e E) em ambos os ambientes.

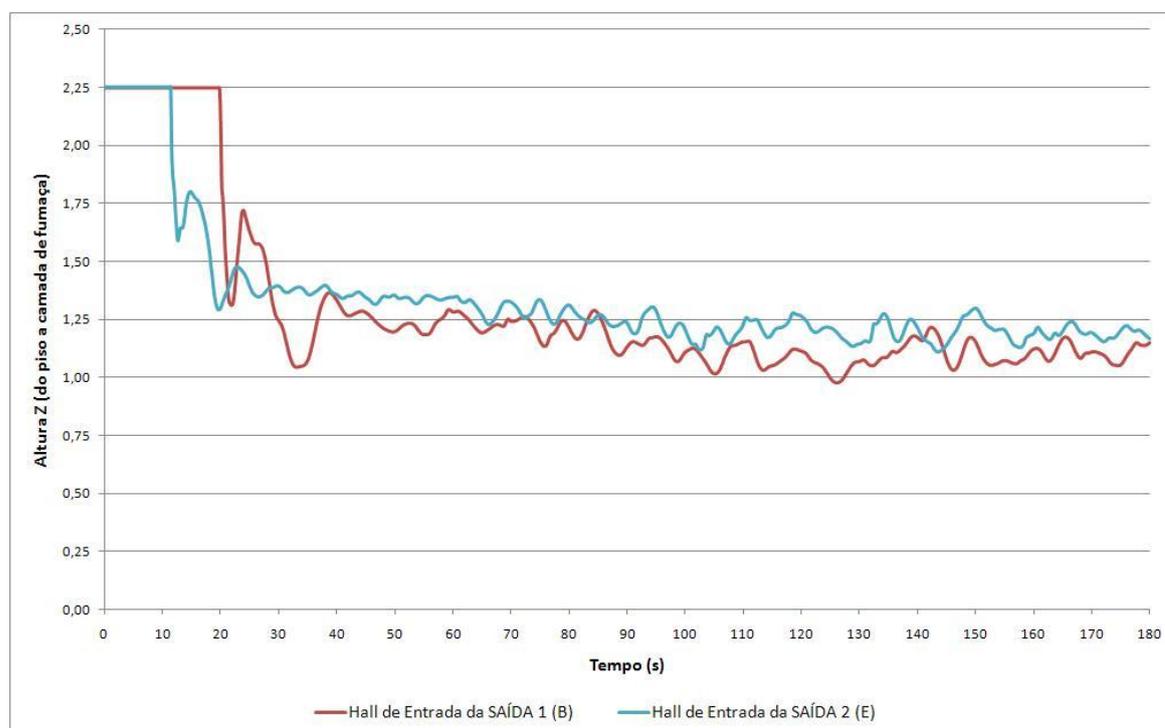


Gráfico 14 – Altura até a camada de fumaça nos halls das saídas de emergência. (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Da autora.

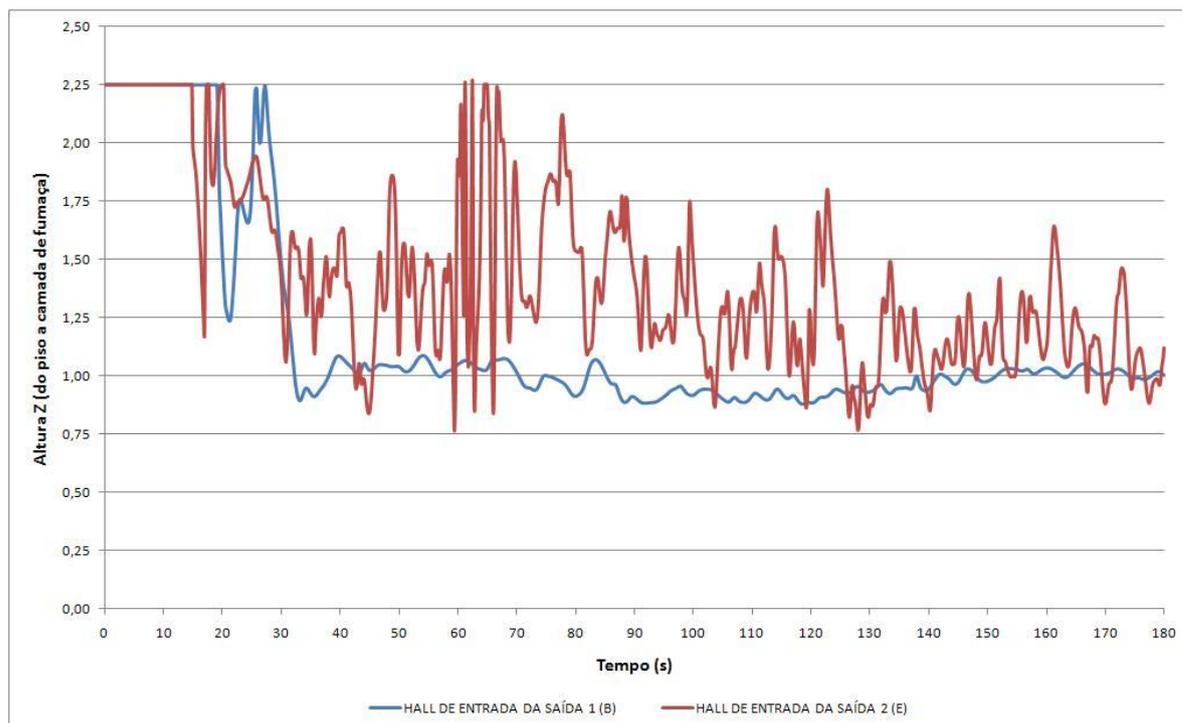


Gráfico 15 – Altura até a camada de fumaça nos halls das saídas de emergência. (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Da autora.

Comparando os dois gráficos, nota-se que no AMBIENTE FECHADO, a altura até a camada de fumaça se mantém praticamente a mesma nos dois halls das saídas de emergência. Já no AMBIENTE ABERTO, a situação é pior no hall de entrada da Saída 1 do que no AMBIENTE FECHADO, e devido a velocidade da ventilação externa inserida no pavimento, há uma grande oscilação na altura até a camada de fumaça na entrada da Saída 2, o que, apesar de estar em uma altura menor que 1,60m, representa que as pessoas podem ter saído com mais facilidade pois a fumaça não se apresentava tão densa quanto no AMBIENTE FECHADO.

Isto também pode explicar o maior número de pessoas que optaram pela Saída 2 no AMBIENTE ABERTO.

Levando-se em consideração que a velocidade de deslocamento das pessoas é influenciada pela redução de visibilidade e a toxicidade dos gases, nota-se que no AMBIENTE FECHADO a altura Z diminui consideravelmente em 30s, o que comparando com o Gráfico 10 pode explicar a redução da velocidade de saída no mesmo tempo.

Os gráficos 16 e 17 também representam essa altura do piso à camada de fumaça (Z) nos outros pontos do pavimento, como corredores e ambiente do foco de incêndio.

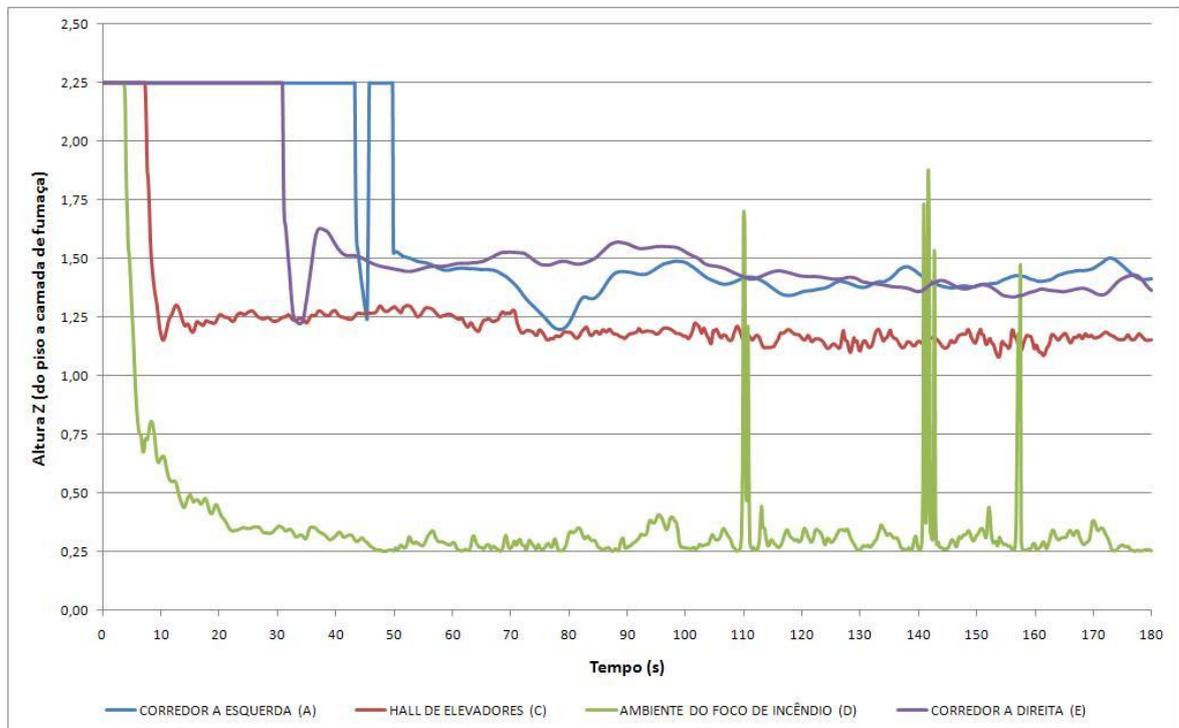


Gráfico 16 – Altura até a camada de fumaça nos corredores, hall de elevadores e ambiente do foco de incêndio. (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Da autora.

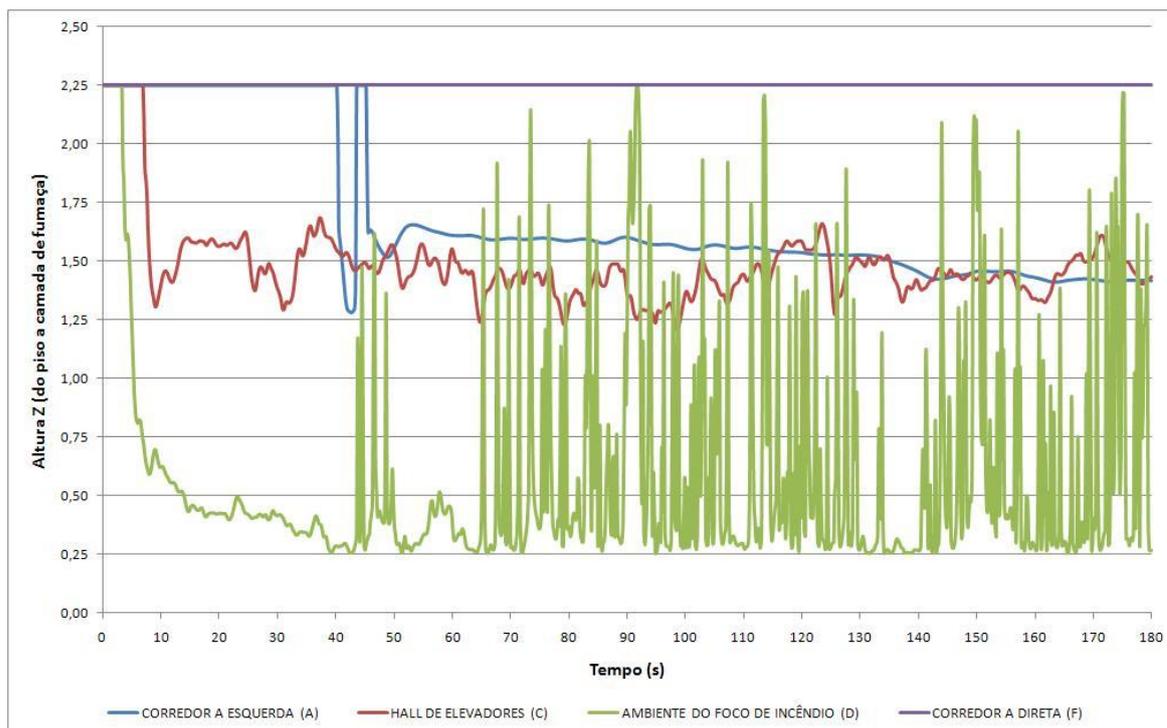


Gráfico 17 – Altura até a camada de fumaça nos corredores, hall de elevadores e ambiente do foco de incêndio. (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Da autora.

Comparando os corredores, de acordo com os gráficos 16 e 17, somente o corredor a direita (mais próximo a entrada de ventilação) não sofre os efeitos da fumaça, preservando as salas à direita no AMBIENTE ABERTO.

No hall de elevadores, a altura oscila mais no AMBIENTE ABERTO, mas em ambos os ambientes, esta altura se mantém abaixo de 1,60 metros.

Nota-se também que no corredor a esquerda da Saída 1 é mantida uma altura entre 1,20m e 1,50m por um grande período de tempo no AMBIENTE FECHADO. A situação do hall de entrada da Saída 1 no AMBIENTE ABERTO, que fica entre 1,35 e 1,70m, é melhor, apesar da fumaça atingir mais rápido esta saída comparando-se as duas simulações.

A outra variável é a visibilidade, como dita anteriormente influencia na velocidade de deslocamento das pessoas no ambiente. A redução da visibilidade é calculada pela redução estimada da intensidade da luz ao passar pela camada de fumaça.

Os Gráficos 18 e 19 representam a visibilidade nas duas simulações, medida a 1,60m de altura.

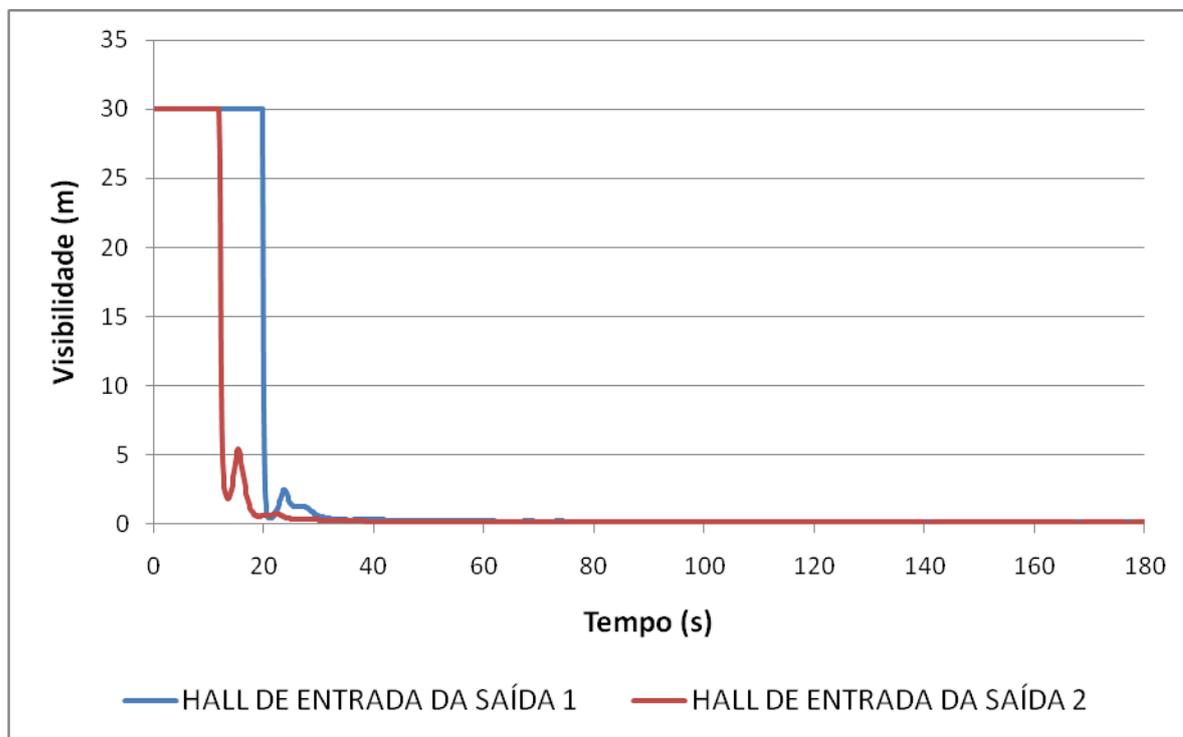


Gráfico 18 – Visibilidade no pavimento (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Da autora.

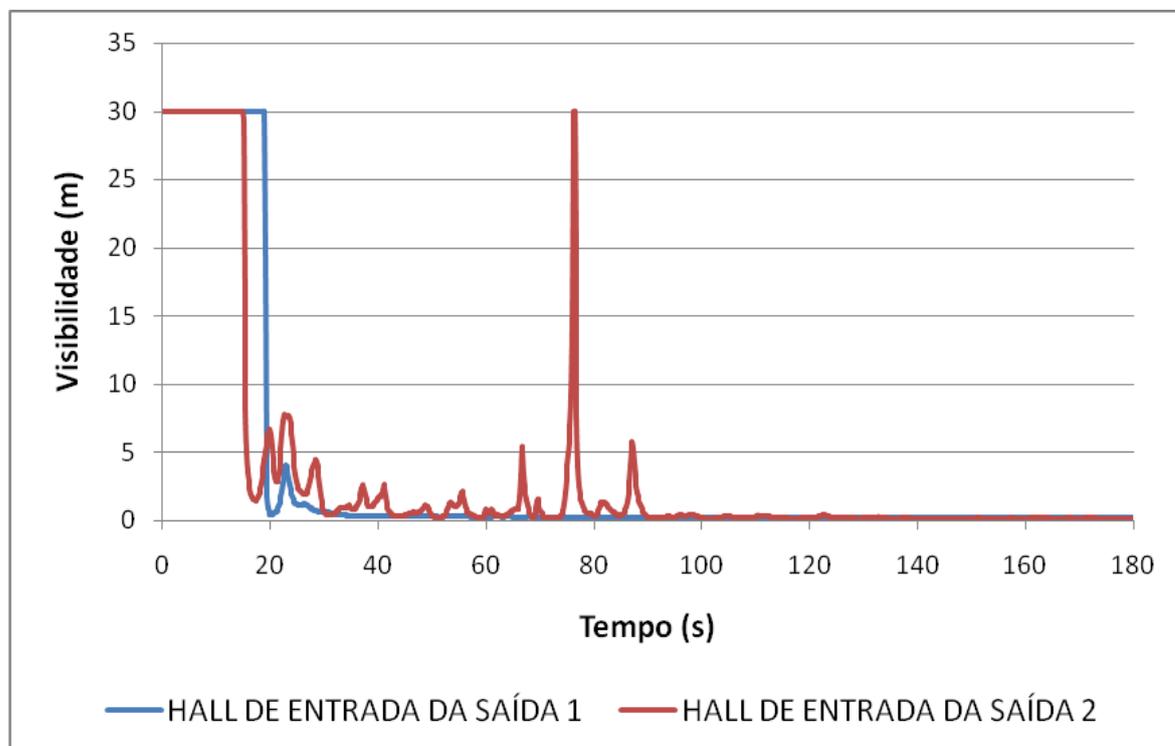


Gráfico 19 – Visibilidade no pavimento (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Da autora.

Nota-se que a situação é praticamente a mesma nos dois AMBIENTES, sendo um pouco melhor no hall de entrada da Saída 2 do ambiente aberto.

No Gráfico 18, a redução da velocidade de deslocamento dos ocupantes aos 30s de simulação também é explicada pela distância da visibilidade no mesmo tempo. O mesmo acontece no Gráfico 19.

A temperatura em alguns pontos também varia de acordo com o tempo de simulação, e também exerce influência no movimento de evacuação no pavimento. A temperatura é medida em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) para uma altura de 1,60m.

Para o AMBIENTE FECHADO, as Figuras 133, 134, 135 e 136 representam a diferença de temperatura no pavimento por um período de tempo em segundos.

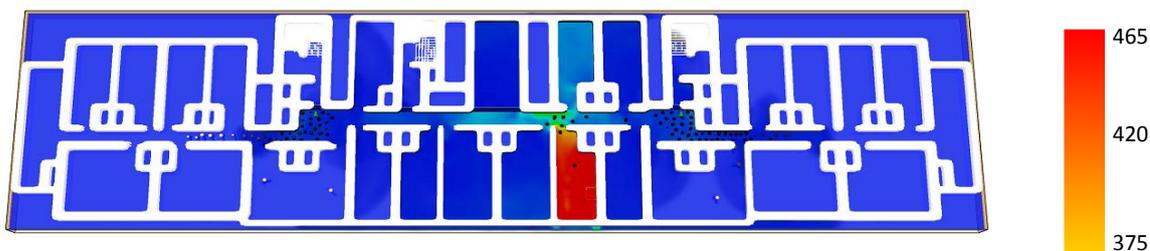


Figura 133 – Variação da temperatura no tempo de 30s (ambiente fechado)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

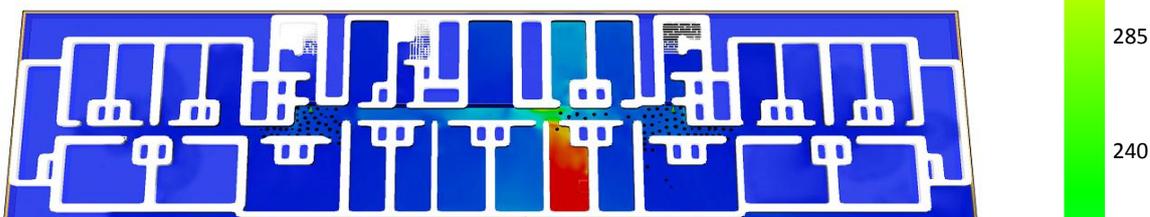


Figura 134 – Variação da temperatura no tempo de 60s (ambiente fechado)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

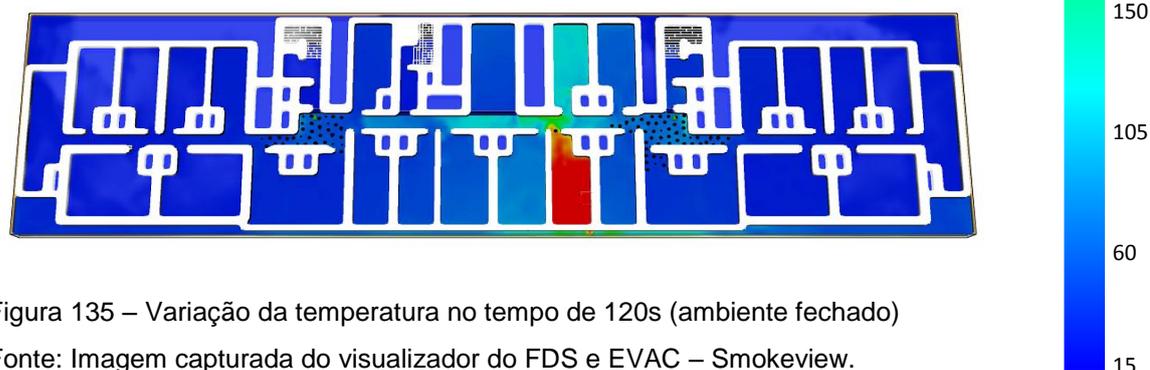


Figura 135 – Variação da temperatura no tempo de 120s (ambiente fechado)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

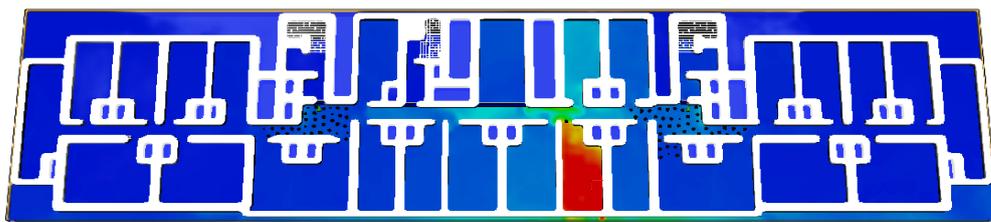


Figura 136 – Variação da temperatura no tempo de 180s (ambiente fechado)

Fonte:

As diferentes temperaturas no pavimento estão ilustradas nas figuras a seguir para o AMBIENTE ABERTO. (Figuras 137, 138, 139 e 140)

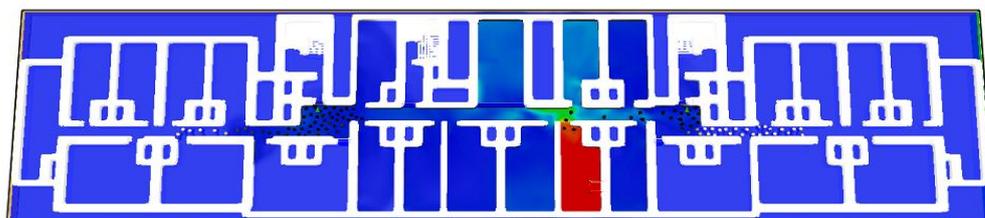


Figura 137 – Variação da temperatura no tempo de 30s (ambiente aberto)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

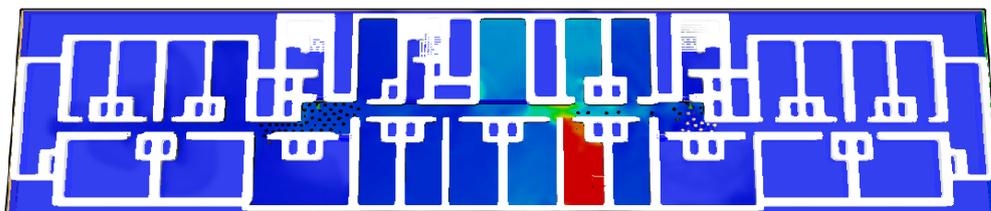


Figura 138 – Variação da temperatura no tempo de 60s (ambiente aberto)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

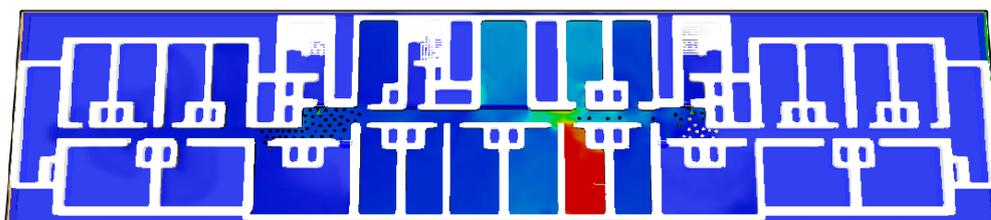
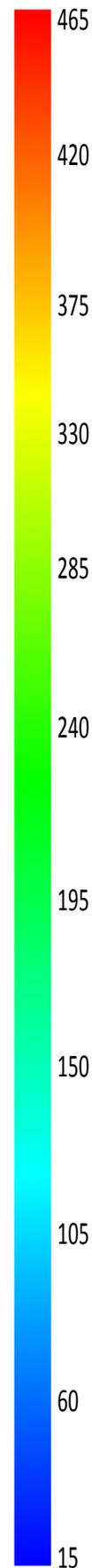


Figura 139 – Variação da temperatura no tempo de 120s (ambiente aberto)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.



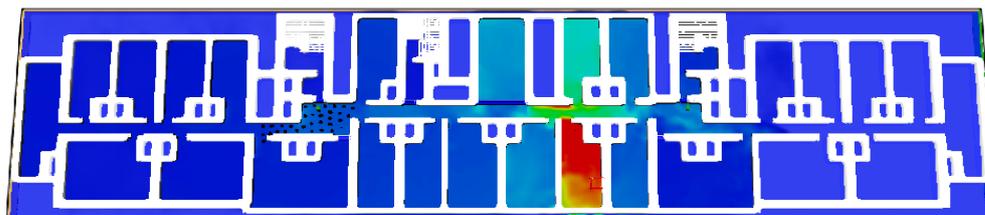


Figura 140 – Variação da temperatura no tempo de 180s (ambiente aberto)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Comparando as temperaturas medidas no AMBIENTE FECHADO e o AMBIENTE ABERTO, nota-se que no hall de entrada para a Saída 2 a temperatura atinge praticamente o mesmo valor nos dois casos, mas um grande diferencial é que no AMBIENTE ABERTO, em 120s quase todas as pessoas já entraram na saída de emergência. A velocidade do ar também foi medida em metros por segundo (m/s) nas simulações realizadas. As Figuras 141, 142, 143, 144 e 145 representam a velocidade para o AMBIENTE FECHADO.

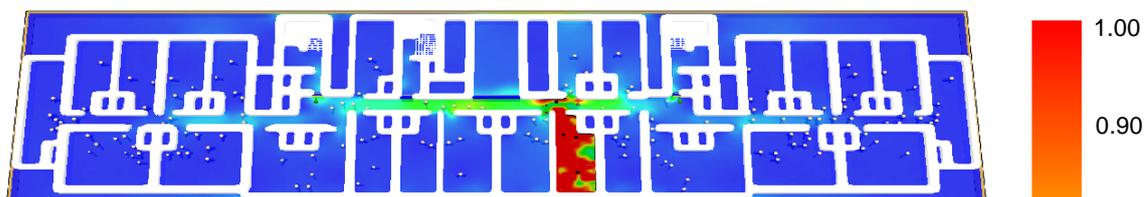


Figura 141 – Velocidade do ar no tempo de 5s (ambiente fechado)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

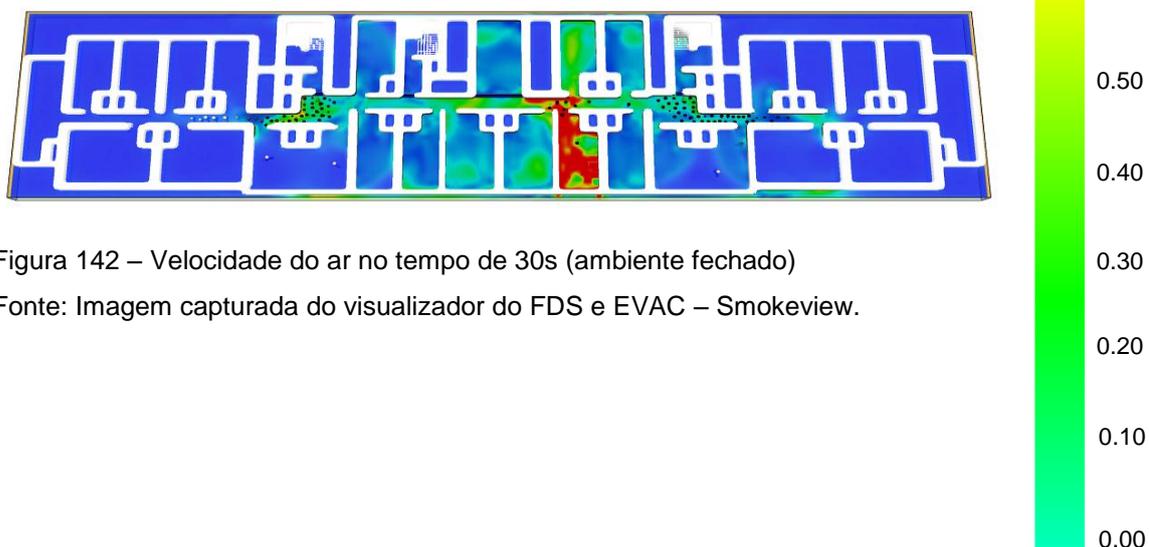


Figura 142 – Velocidade do ar no tempo de 30s (ambiente fechado)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

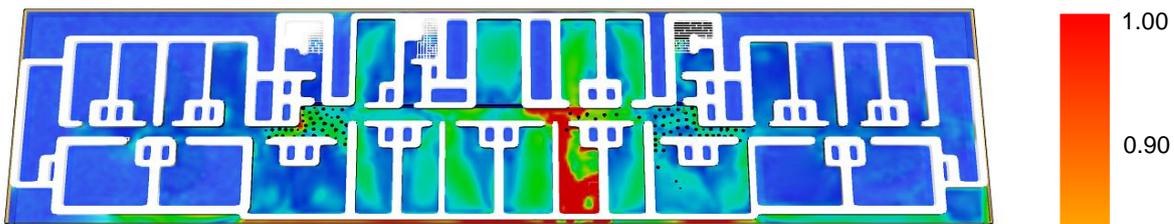


Figura 143 – Velocidade do ar no tempo de 60s (ambiente fechado)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

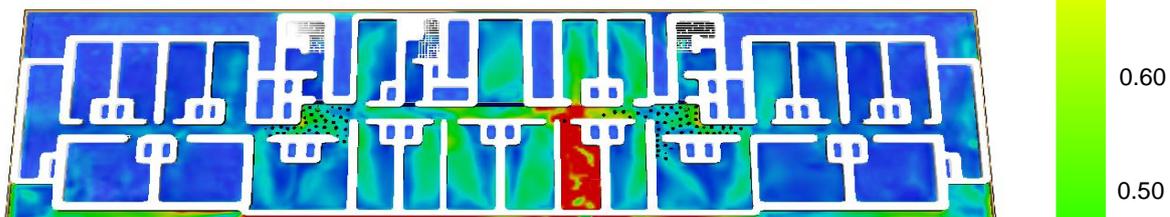


Figura 144 – Velocidade do ar no tempo de 90s (ambiente fechado)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

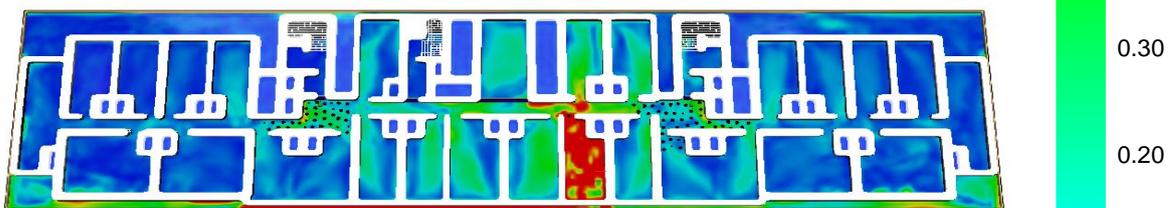


Figura 145 – Velocidade do ar no tempo de 180s (ambiente fechado)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.



Para o AMBIENTE ABERTO, as velocidades do ar estão representadas nas Figuras 146, 147, 148, 149 e 150.

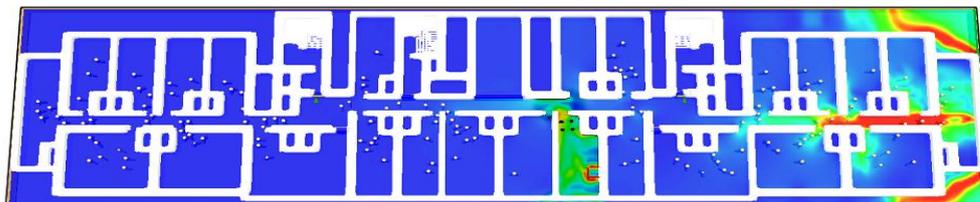


Figura 146 – Velocidade do ar no tempo de 5s (ambiente aberto)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

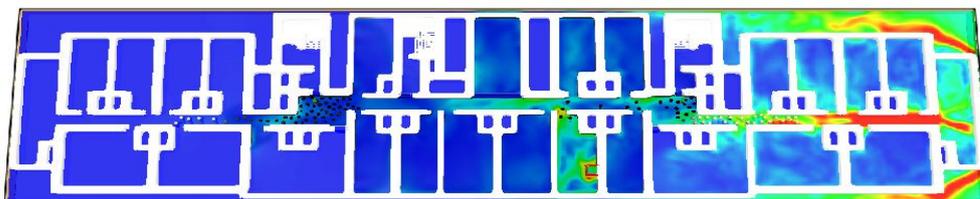


Figura 147 – Velocidade do ar no tempo de 30s (ambiente aberto)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

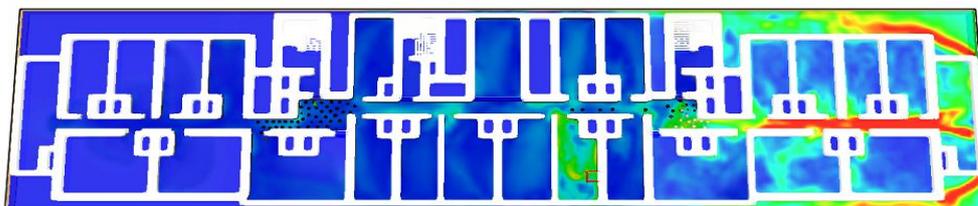


Figura 148 – Velocidade do ar no tempo de 60s (ambiente aberto)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

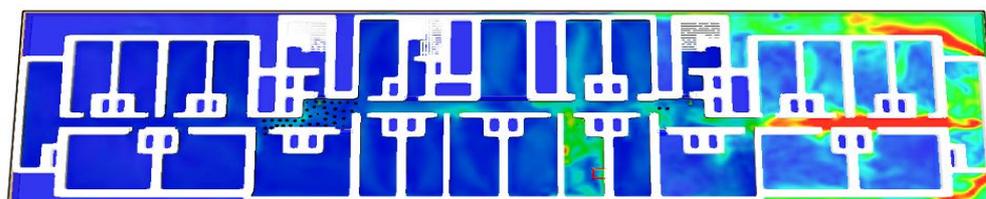
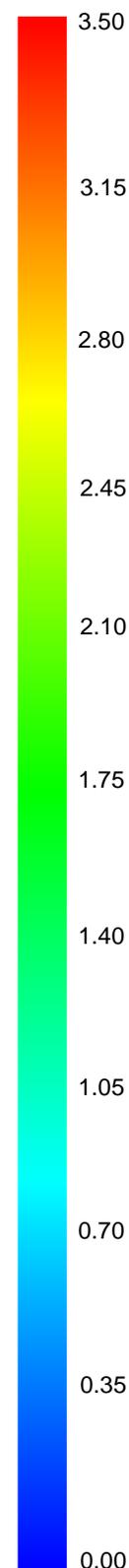


Figura 149 – Velocidade do ar no tempo de 120s (ambiente aberto)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.



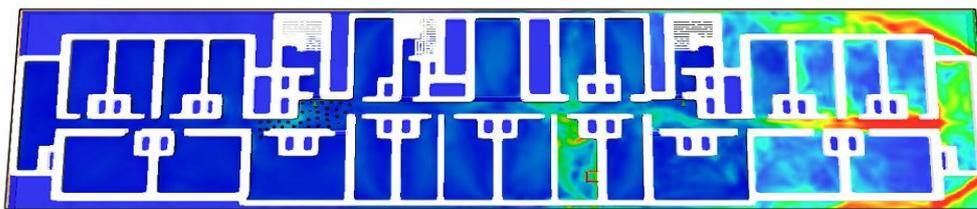


Figura 150 – Velocidade do ar no tempo de 180s (ambiente aberto)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Pode-se dizer que o ar limpo que entra e a fumaça produzida no pavimento possuem uma relação estreita, e como a velocidade do ar que entra é maior que a velocidade da fumaça, esta se espalha com mais rapidez no ambiente.

Portanto, observou-se que, analisando as simulações dentro de suas variáveis, o ar que penetra no pavimento influencia na movimentação da fumaça e a fumaça propagada influencia no deslocamento das pessoas no pavimento. Entretanto, dependendo da velocidade de entrada do ar e do local por onde entra essa ventilação, a fumaça pode se movimentar em diversos caminhos. O que aconteceu para as simulações realizadas para esta pesquisa é que a fumaça se movimentou em direção à ventilação aplicada no pavimento. O que poderia ser diferente com a aplicação de outros pontos de entrada de ar nesse mesmo pavimento.

#### *4.2.2.2 Análise comparativa entre os resultados das simulações do Commerzbank Tower*

Para a realização das simulações do Commerzbank no *software* FDS, que possui uma malha retilínea, alterou-se as extremidades da planta, sem perda de área de trabalho, circulações e posicionamento das saídas, ambas relevantes para a obtenção dos resultados próximos a realidade.

Todas as imagens das simulações foram capturadas através do *Smokeview*.

Para o Commerzbank Tower, primeiramente, também foi realizada a simulação de evacuação, sem ocorrência de incêndio (simulação 1). As linhas pretas que aparecem nas figuras devem ser desconsideradas, pois aparecem por causa dos dados inseridos para a elaboração do desenho (definição da área de evacuação). (Figuras 151, 152 e 153)

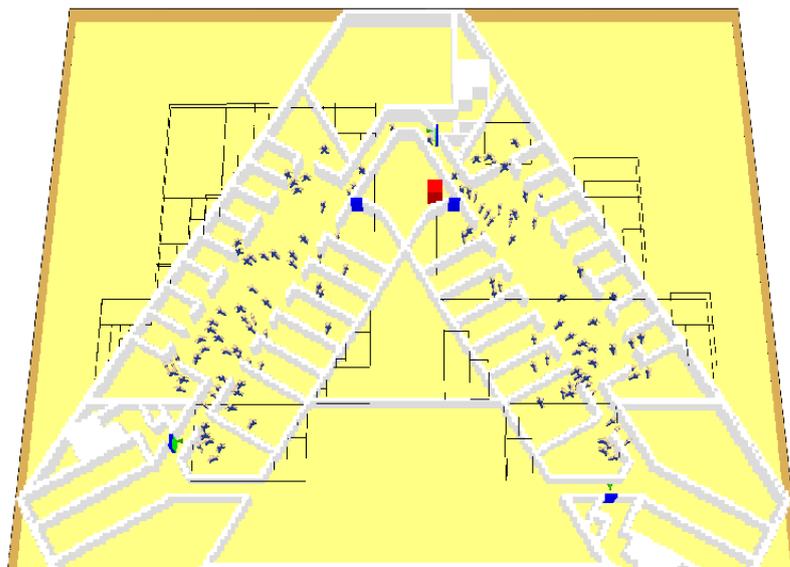


Figura 151 – Imagem da simulação de evacuação no tempo de 5s.

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

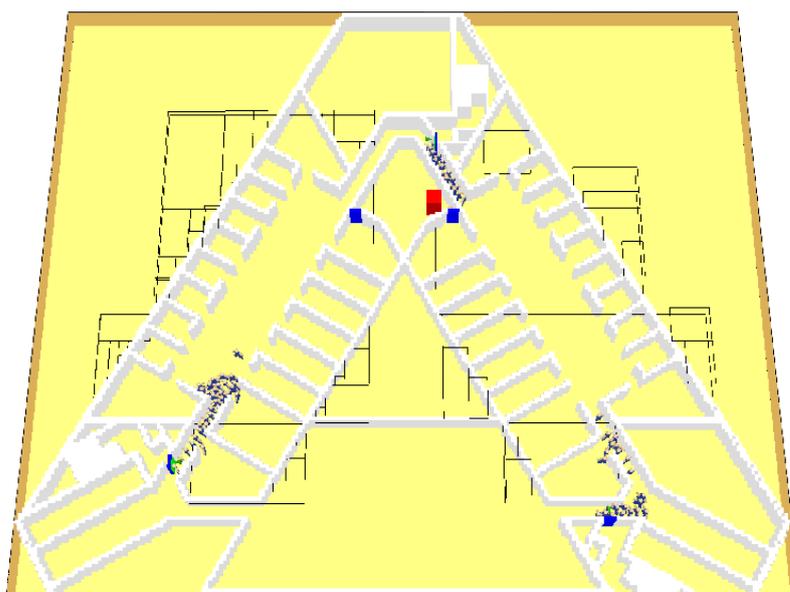


Figura 152 – Imagem da simulação de evacuação no tempo de 30s.

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

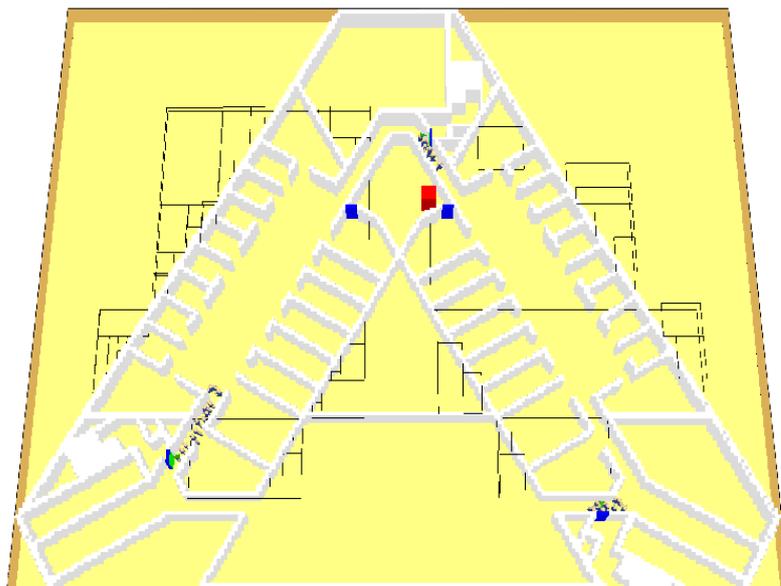


Figura 153 – Imagem da simulação de evacuação no tempo de 45s.

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

No tempo de 61 segundos, o último ocupante do pavimento atinge uma saída de emergência.

O Gráfico 20 mostra o número de pessoas que saíram do pavimento em cada saída de emergência.

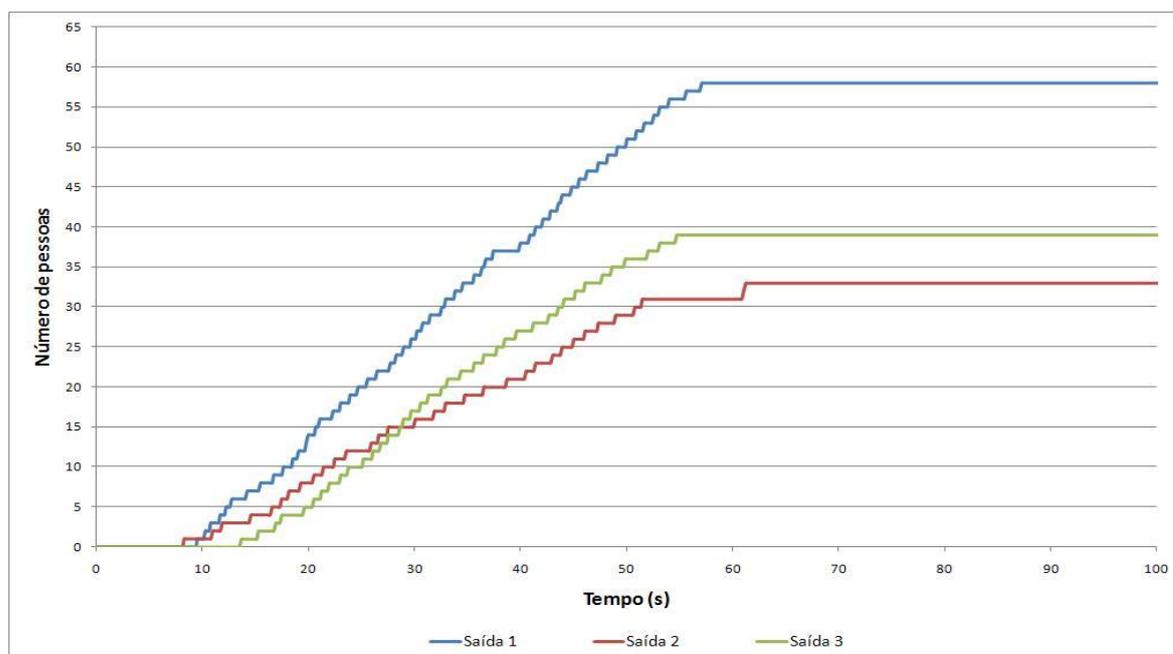


Gráfico 20 – Número de pessoas por saída de emergência X Tempo (s)

Fonte: Da autora.

Conforme o Gráfico 20 foram 58 pessoas (45%) que atingiram a Saída 1, 33 pessoas (25%) atingiram a Saída 2 e 39 pessoas (30%) saíram pela Saída 3, numa população total de 130 ocupantes.

Considerou-se para as outras duas simulações o mesmo descrito no caso do Bloco C do Brasil: simulação de incêndio e evacuação sem entrada de ar externo (AMBIENTE FECHADO) e simulação de incêndio e evacuação com entrada de ar externo no pavimento (AMBIENTE ABERTO).

Para a simulação AMBIENTE ABERTO considerou-se o vento sudoeste. Sabendo-se que a planta do Commerzbank Tower é rotacionada por causa da disposição dos jardins suspensos, a entrada de ar foi posicionada para que entrasse vento pelos jardins e saindo pelo átrio central (duas medidas bioclimáticas).

As simulações 2 e 3 (AMBIENTE FECHADO E AMBIENTE ABERTO) são demonstradas pelas figuras a seguir comparando os resultados entre elas.

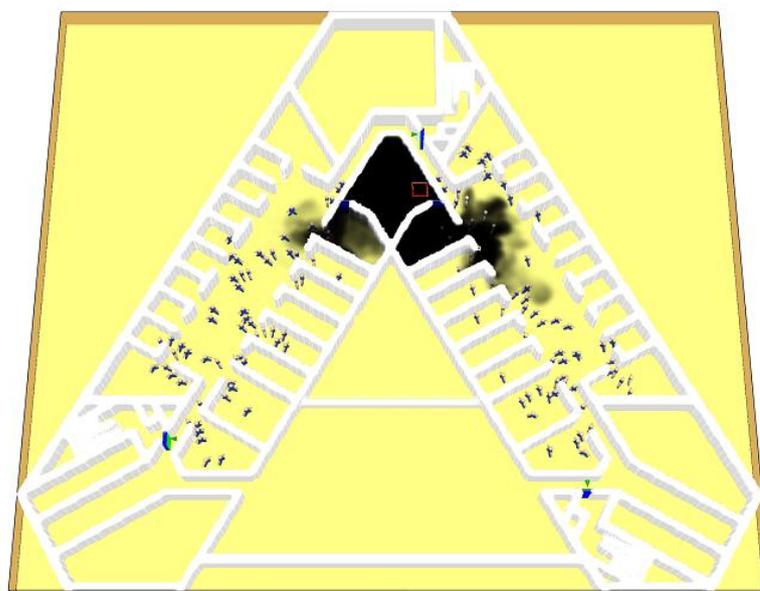


Figura 154 – Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 5s (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

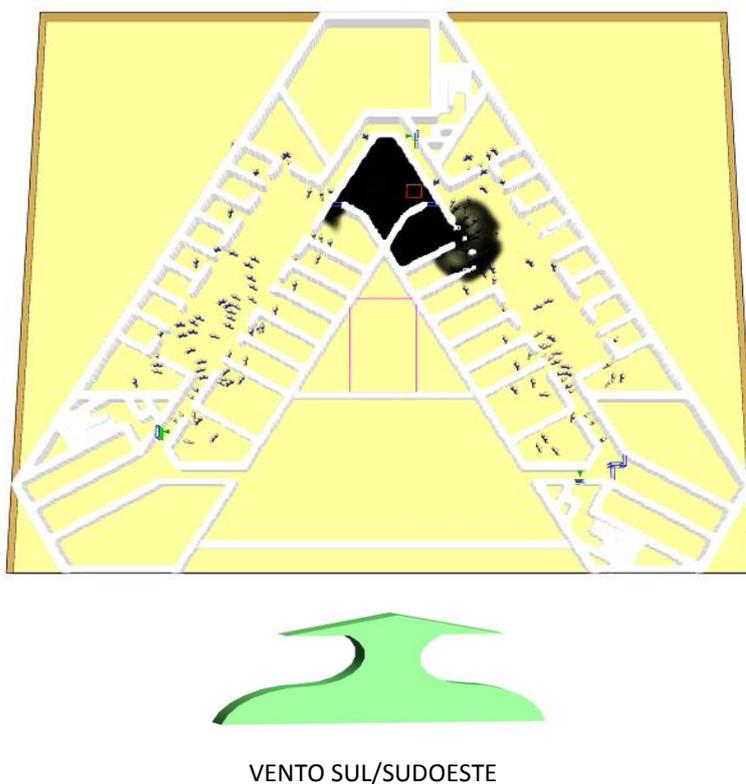


Figura 155 – Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 5s (AMBIENTE ABERTO)  
Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

O incêndio e o movimento de evacuação em 30 segundos de simulação representados pelas Figuras 156 e 157.

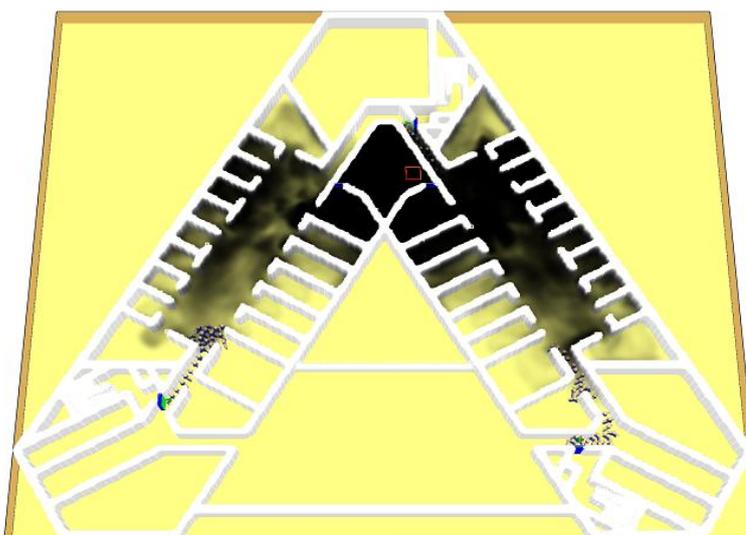


Figura 156 – Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 30s (AMBIENTE FECHADO)  
Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

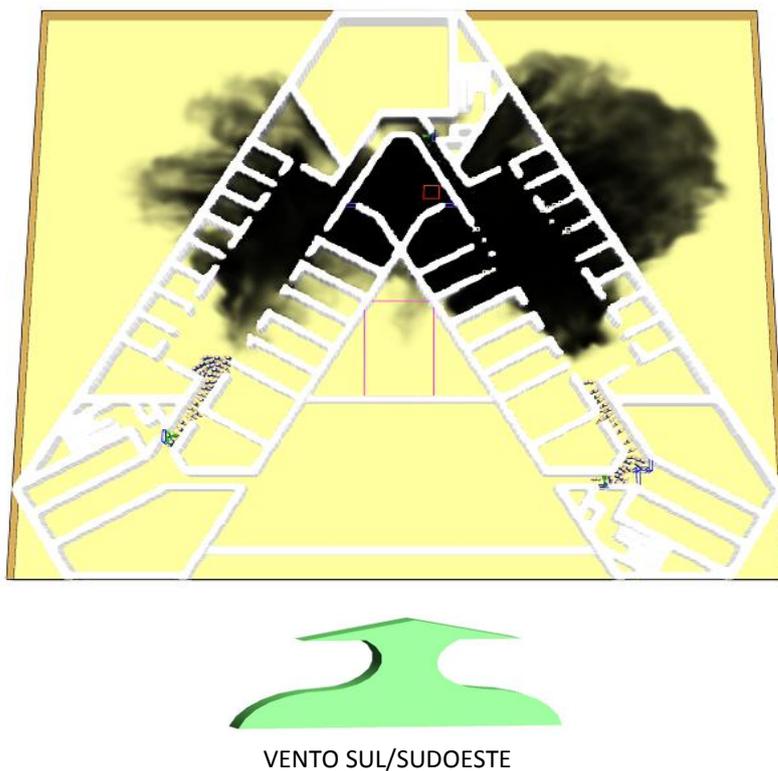


Figura 157 – Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 30s (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Observe que em 30 segundos já se vê uma trajetória da fumaça bastante diferente para cada simulação.

As Figuras 158 e 159 representam o incêndio e a evacuação em 1 minuto.

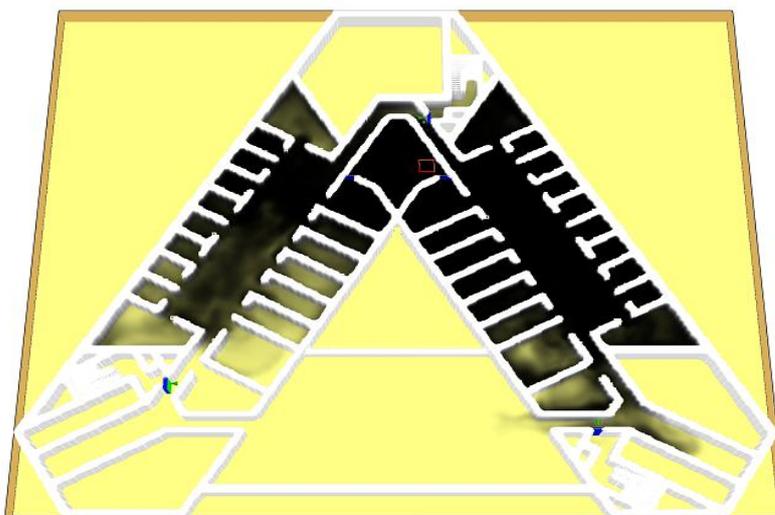


Figura 158 – Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 1 minuto (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

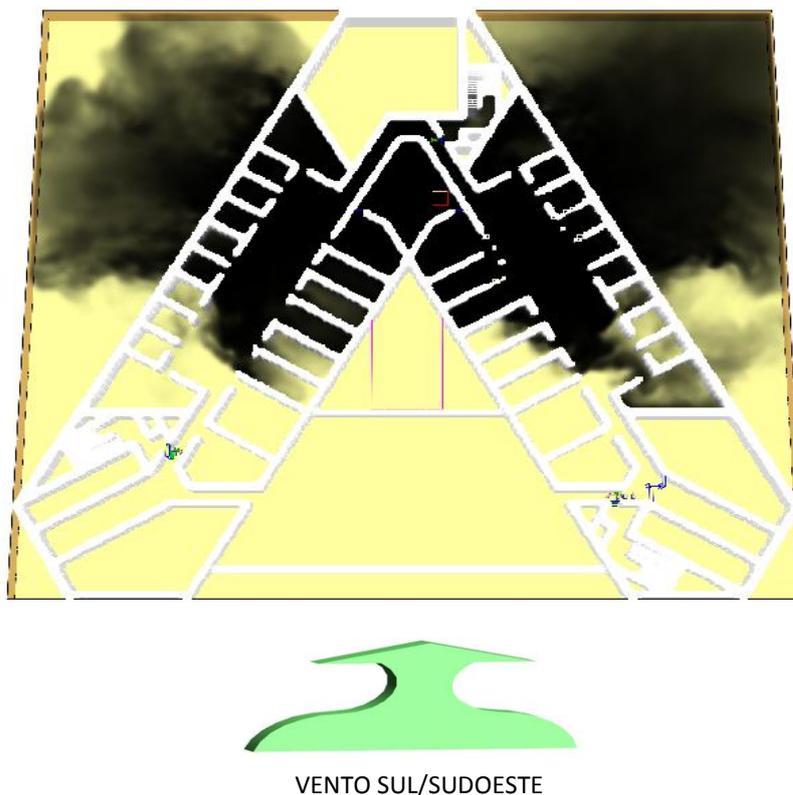


Figura 159 – Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 1 minuto (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

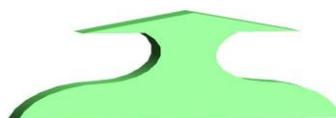
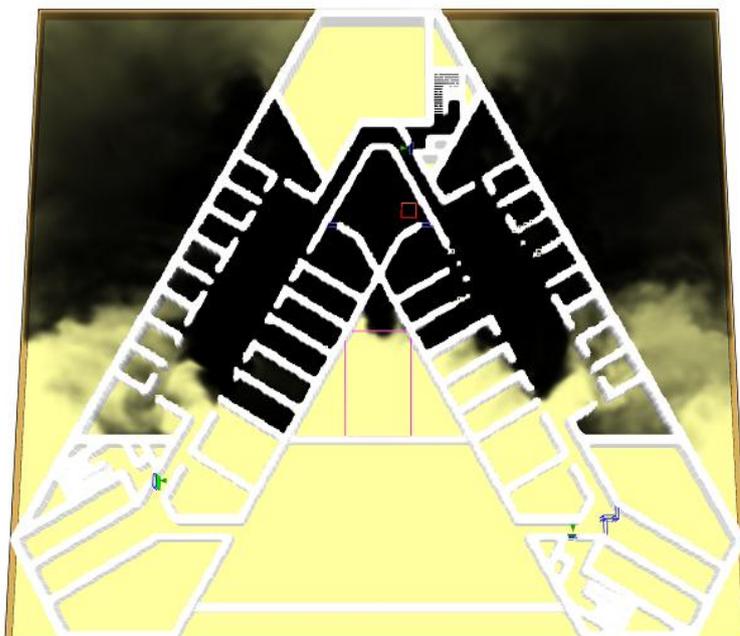
No tempo de 60 segundos, no AMBIENTE FECHADO, a fumaça já começa a atingir o hall de entrada da Saída 3, enquanto que no AMBIENTE ABERTO, a ventilação aplicada mantém a fumaça longe das Saídas 1 e 3. Além disso, é importante visualizar que todas as pessoas que procuraram as Saídas 1 e 3 conseguiram sair sem ter muito contato com a fumaça.

As Figuras 160 e 161 ilustram a simulação de incêndio e de evacuação no tempo de 90 segundos.



Figura 160 – Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 90s (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.



VENTO SUL/SUDOESTE

Figura 161 – Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 90s (AMBIENTE ABERTO)

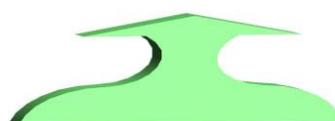
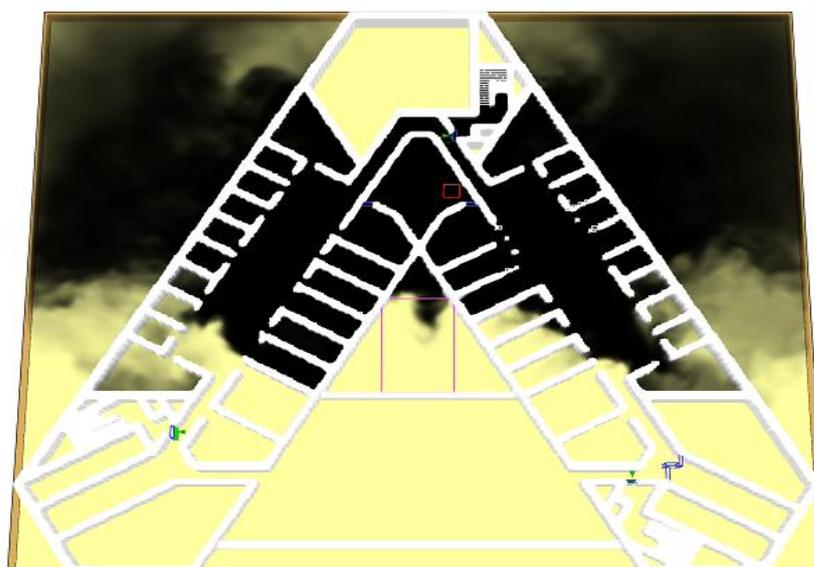
Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

No tempo de 100 segundos, a simulação de incêndio e de evacuação está representada pelas Figuras 162 e 163.



Figura 162 – Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 100 segundos (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.



VENTO SUL/SUDOESTE

Figura 163 – Imagem da simulação de incêndio e evacuação no tempo de 100 segundos (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Observa-se que o vento que entra pelos jardins vai em direção ao átrio e toma duas direções, as janelas dos escritórios e saída vertical pelo átrio. Mas a ventilação é maior nas janelas dos escritórios onde a parte externa é o jardim, visto que no AMBIENTE ABERTO, não deixa a fumaça atingir esses escritórios até o período de tempo da simulação.

Comparando-se com o movimento de evacuação nos dois casos, os gráficos 21 e 22 apresentam os resultados obtidos.

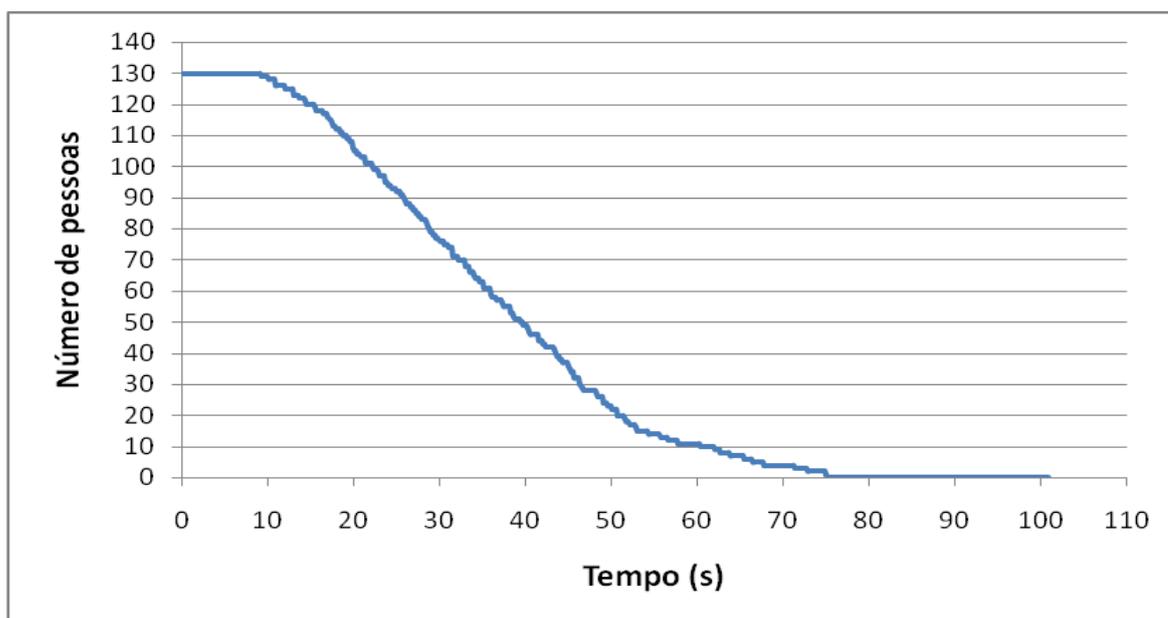


Gráfico 21 – Número total de pessoas que estão no pavimento X Tempo (s) (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Da autora.

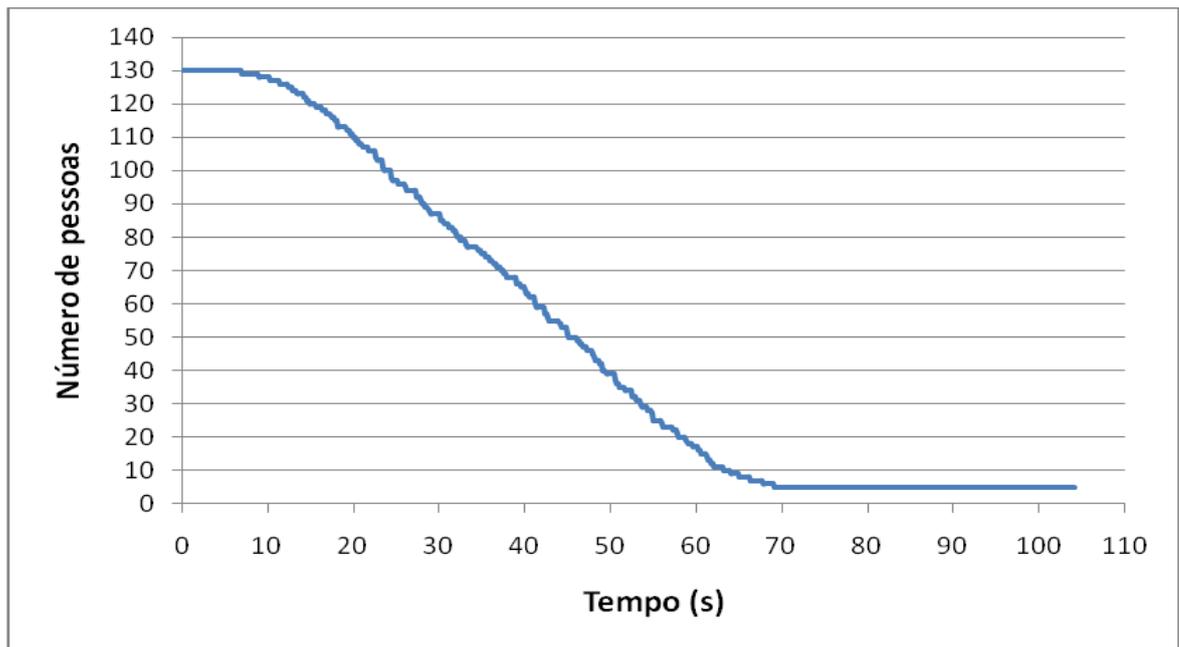


Gráfico 22 – Número total de pessoas que estão no pavimento X Tempo (s) (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Da autora.

Os gráficos 21 e 22 indicam que a velocidade de deslocamento dos ocupantes foi praticamente a mesma, visto que esta velocidade foi um pouco menor no AMBIENTE FECHADO.

A Tabela 7 indica o número de pessoas que alcançaram a saída de emergência nas três simulações.

Tabela 7 – Número de pessoas que alcançaram a saída de emergência – resultado das três simulações.

Tempo (s)	Número de pessoas que alcançaram a saída de emergência					
	Simulação 1 Somente evacuação		Simulação 2 Ambiente Fechado		Simulação 3 Ambiente Aberto	
15	12	9%	10	7%	10	7%
30	59	45%	54	42%	43	33%
60	128	98%	119	92%	113	87%
61	130	100%				
90	-	-	128	98%	125	96%
100	-	-	128	98%	125	96%

Fonte: Da autora.

Os resultados de evacuação são representados na análise do Commerzbank para o tempo de até 100s, visto que a partir de 90s até o final da simulação em 180s não apareceram resultados para a saída das 2 pessoas na Simulação 2 e 5 pessoas na Simulação 3. Isso pode ter ocorrido devido ao posicionamento das pessoas definido pelo programa, que em cada simulação realizada, o *software* FDS as coloca em locais diferentes, ou então, essas pessoas saíram após o tempo de simulação considerado nesta pesquisa.

Em relação ao número de pessoas que procuraram as diferentes saídas, têm-se os Gráficos 23 e 24.

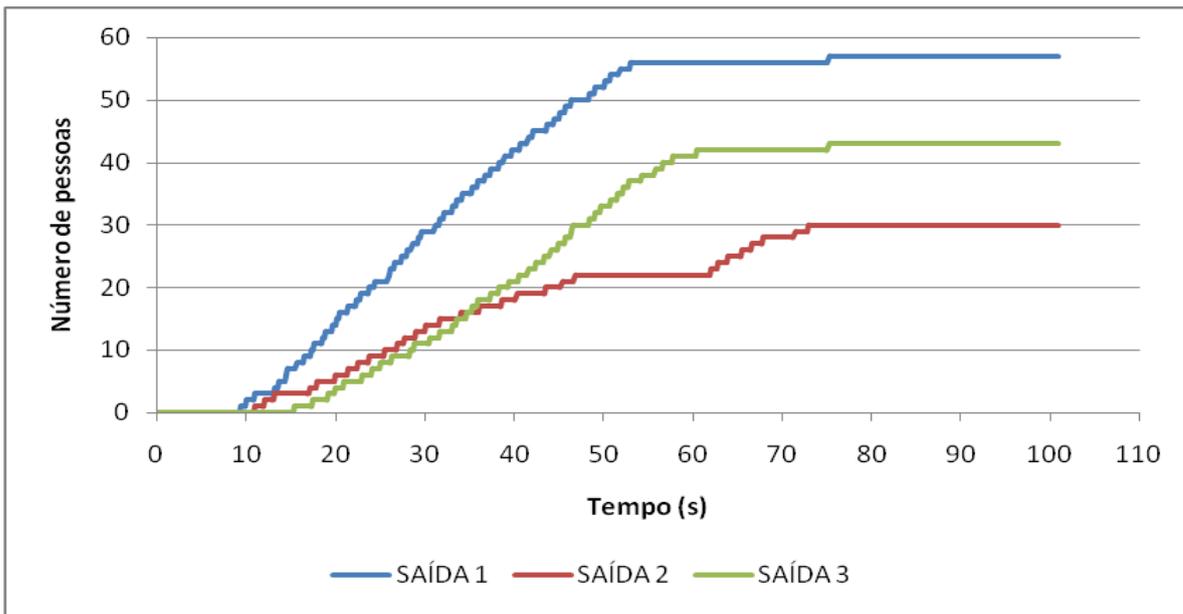


Gráfico 23 – Número de pessoas por saída X Tempo (s) (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Da autora.

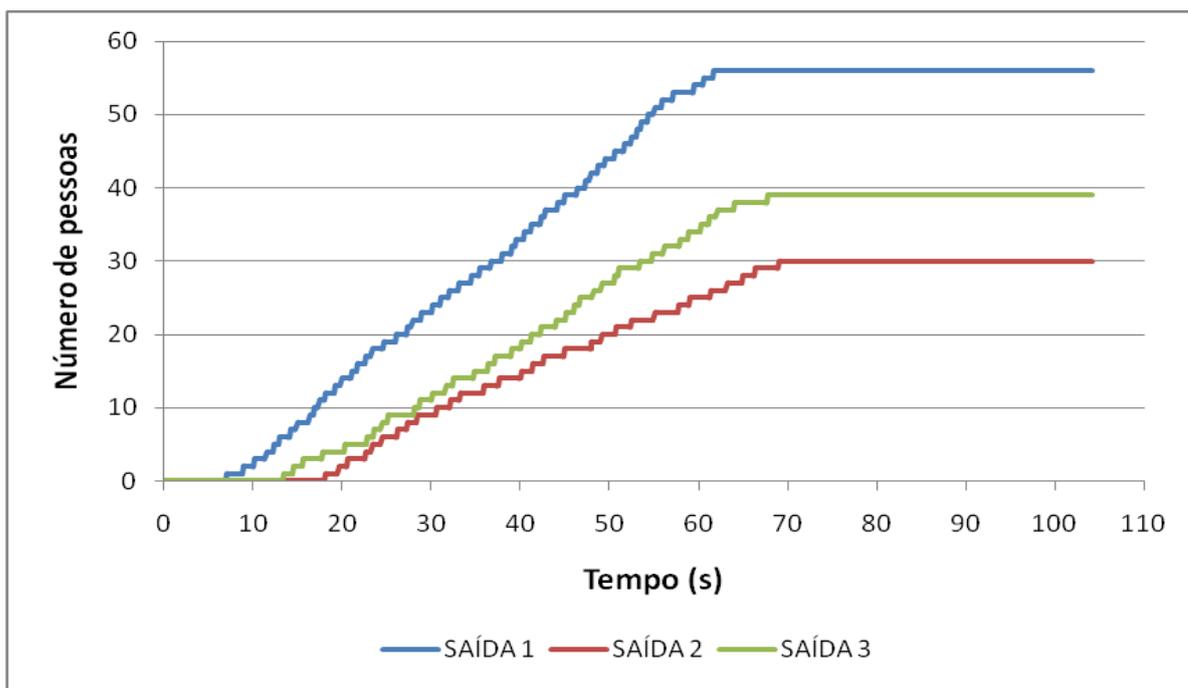


Gráfico 24 – Número de pessoas por saída X Tempo (s) (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Da autora.

A análise dos Gráficos 23 e 24 aparece com uma diferença em relação à Saída 2. Mesmo que nos dois casos o número de pessoas que atingiu a Saída 2 seja o mesmo observou-se que o movimento de evacuação no AMBIENTE ABERTO é mais constante, isto é, alguns fatores, como a fumaça interferiu na velocidade de deslocamento dos ocupantes neste período de tempo na Saída 2.

A Tabela 8 representa o número de pessoas que atingiram as Saídas 1, 2 e 3 nas três simulações.

Tabela 8 – Número de pessoas que atingiram as Saídas 1,2 e 3, nas três simulações.

Simulações	Número de pessoas que atingiram uma saída de emergência			
	Saída 1	Saída 2	Saída 3	Total
<b>Simulação 1</b> <b>Somente evacuação</b>	58 (45%)	33 (25%)	39 (30%)	130 (100%)
<b>Simulação 2</b> <b>Ambiente Fechado</b>	56 (43%)	30 (23%)	42 (32%)	128 (98%do total)
<b>Simulação 3</b> <b>Ambiente Aberto</b>	56 (43%)	30 (23%)	39 (30%)	125 (96%do total)

Fonte:

Observa-se pela Tabela 8 que não há muita diferença entre a Simulação 2 e Simulação 3, o que poderia ser explicado talvez pelo número de saídas, ou até mesmo pela qualidade de projeto em relação ao posicionamento das escadas de emergência e da forma do partido adotado, independentemente se há ou não ventilação natural que entra pelo pavimento.

Outra variável que influencia diretamente na velocidade de deslocamento das pessoas é a altura da camada de fumaça (do piso ao plume) = Z.

A Figura 164 representa os pontos onde foram coletadas as alturas de camada de fumaça no pavimento do edifício analisado.

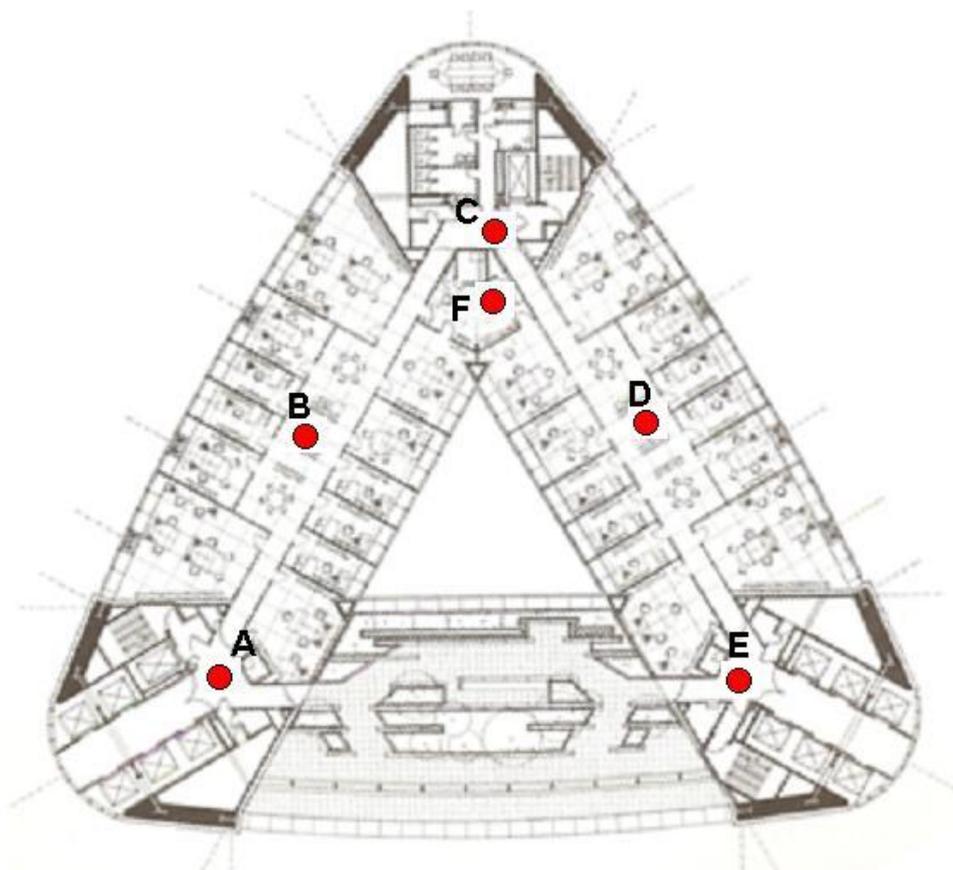


Figura 164 – Planta baixa do Commerzbank Tower com indicação dos pontos definidos para a coleta dos dados da camada de fumaça.

Fonte: Adaptado de Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.

Os Gráficos 25 e 26 representam a variável camada de fumaça para as duas situações – AMBIENTE FECHADO e AMBIENTE ABERTO, respectivamente, para os halls de entrada das três saídas (A – C – E).

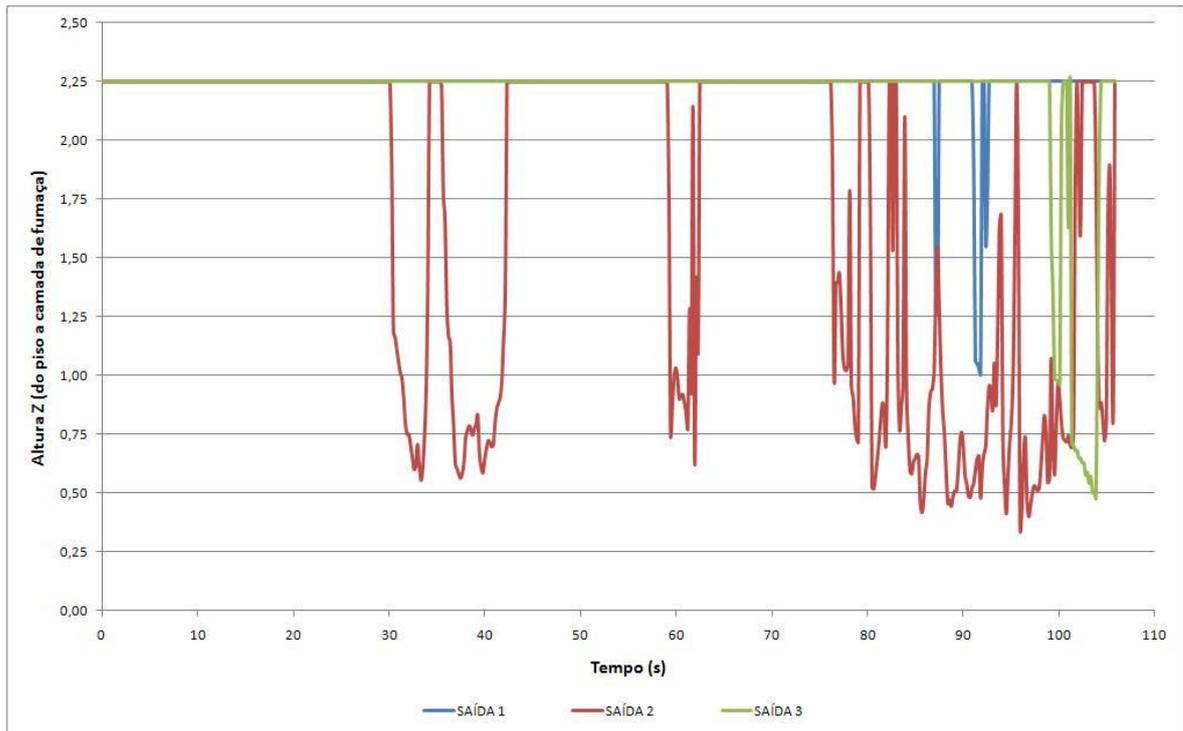


Gráfico 25 – Altura até a camada de fumaça nos halls das saídas de emergência. (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Da autora.

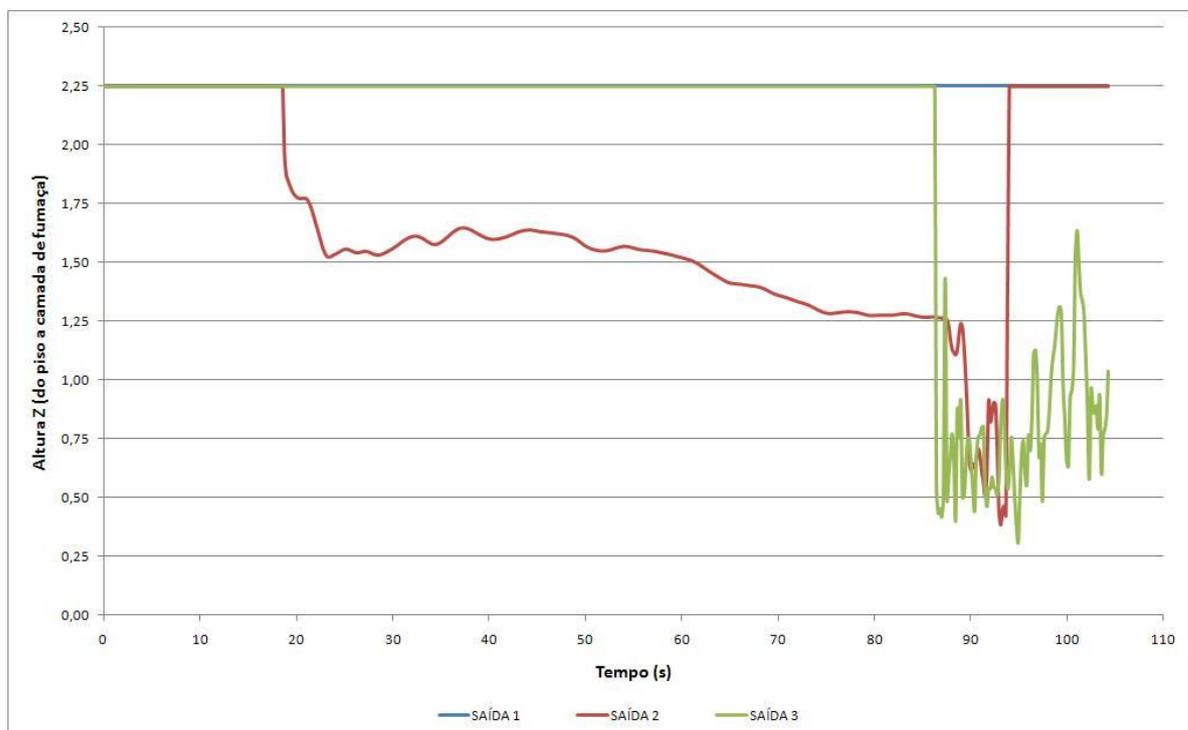


Gráfico 26 – Altura até a camada de fumaça nos halls das saídas de emergência. (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Da autora.

Os Gráficos 25 e 26 também apresentam um diferencial em relação à Saída 2. Observando que no AMBIENTE FECHADO os níveis de Z oscilam, mas permanecem mais tempo em uma faixa prejudicial ao movimento das pessoas (0,50m a 1,50m).

Os Gráficos 27 e 28 apresentam resultados diferentes para os pontos B, D e F.

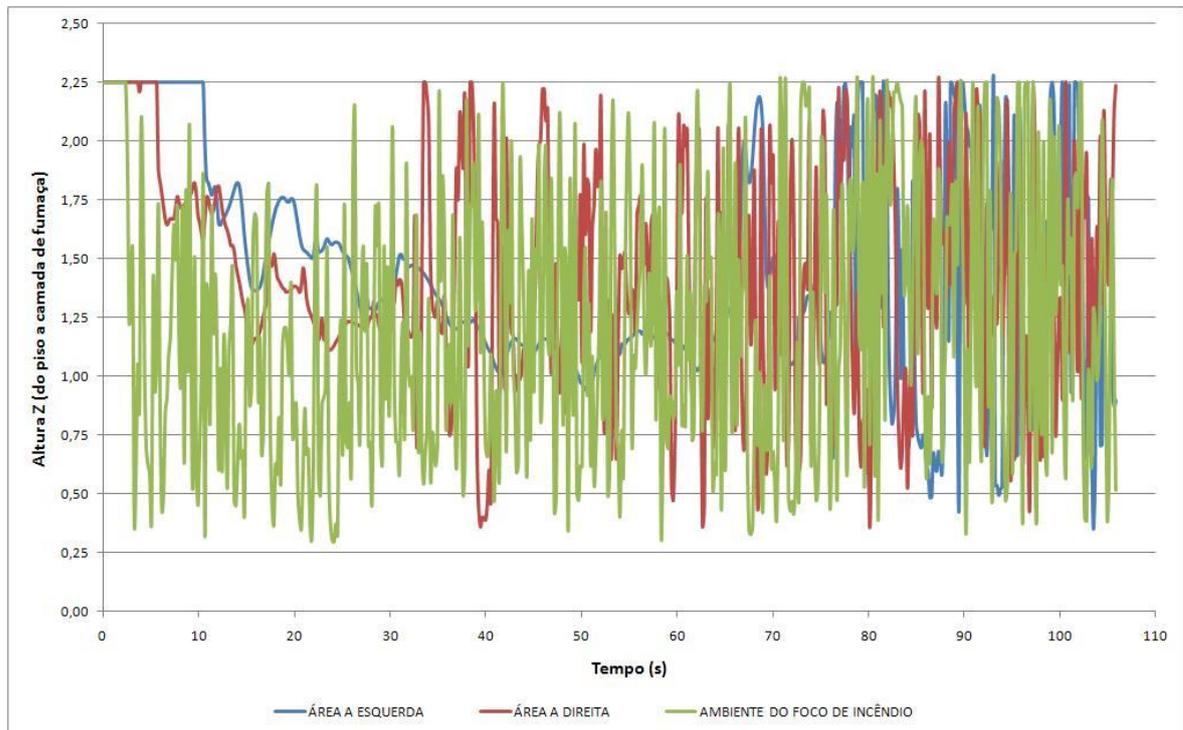


Gráfico 27 – Altura até a camada de fumaça nos corredores, hall de elevadores e ambiente do foco de incêndio. (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Da autora.

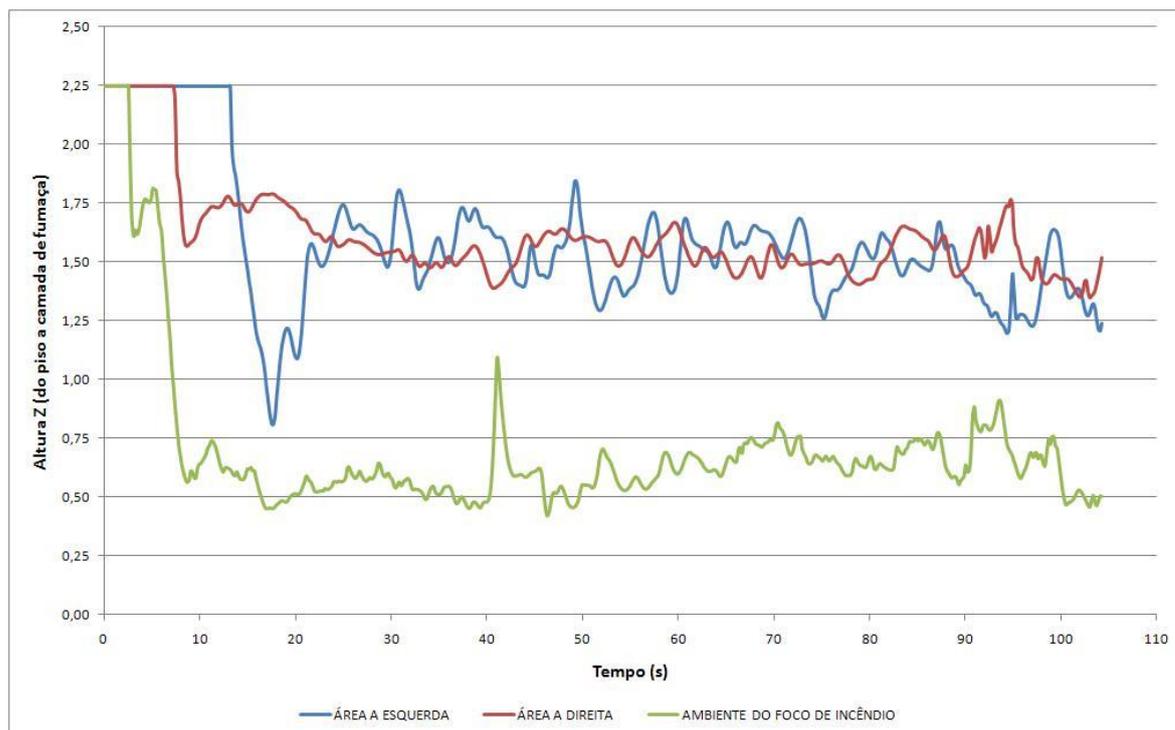


Gráfico 28 – Altura até a camada de fumaça nos corredores, hall de elevadores e ambiente do foco de incêndio. (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Da autora.

A pior situação nestes casos é o ambiente do foco de incêndio no AMBIENTE ABERTO, mas não há mais ninguém na sala onde houve a ignição. No caso do AMBIENTE FECHADO, há uma oscilação em todos os pontos mensurados.

A outra variável detectada é a visibilidade.

Os Gráficos 29 e 30 representam a visibilidade nas duas simulações.

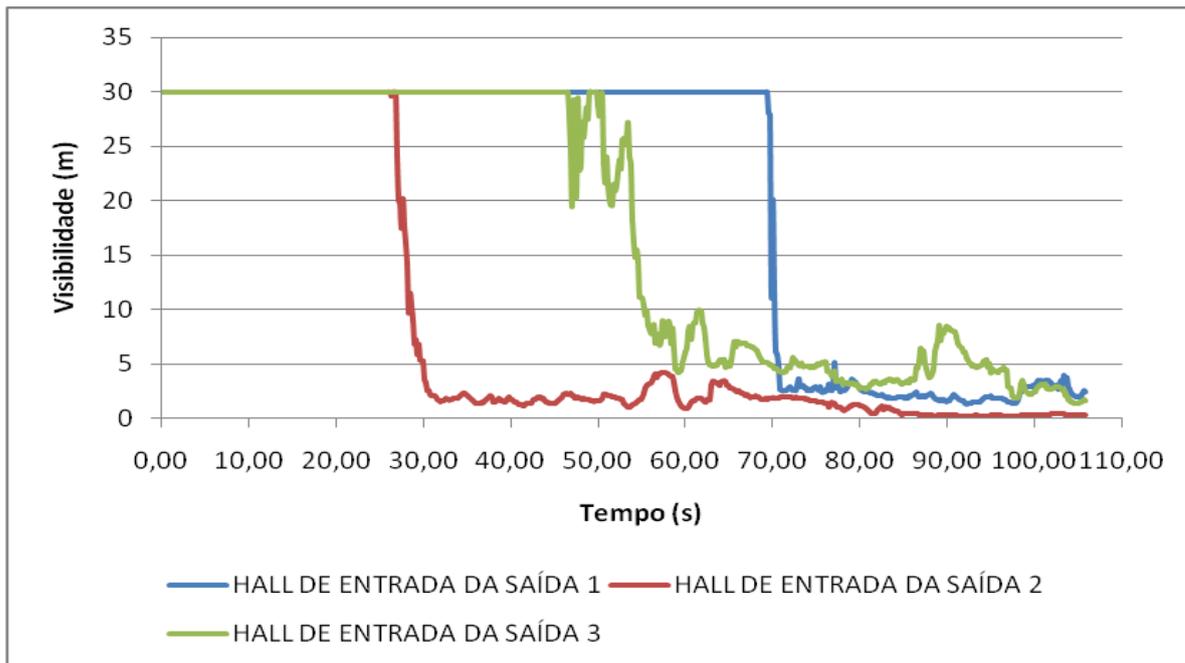


Gráfico 29 – Visibilidade no pavimento (AMBIENTE FECHADO).

Fonte: Da autora.

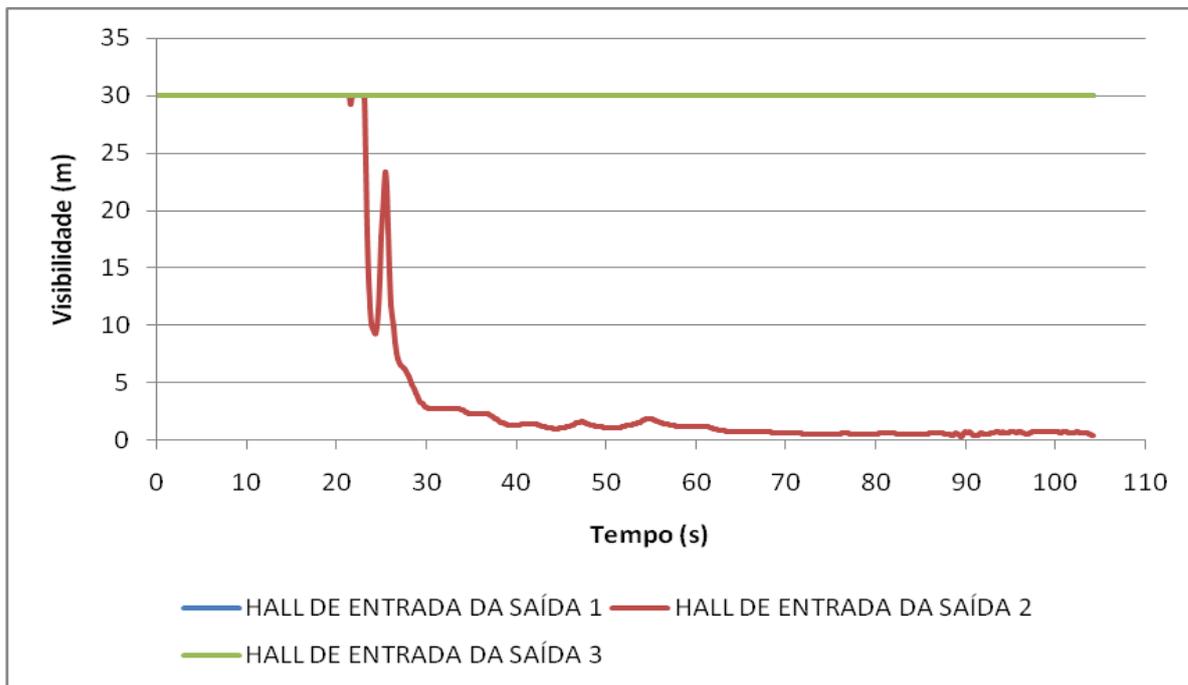


Gráfico 30 – Visibilidade no pavimento (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Da autora.

Os dois gráficos anteriores indicam a queda da visibilidade no tempo anterior a 30 segundos, comprovando que a velocidade neste período de tempo diminui graças a diminuição da visibilidade, ambos para a Saída 2.

Considera-se também que a Saída 2 também se encontra mais próxima ao foco de incêndio.

Outro ponto considerado para a análise dos dados é o fator Temperatura, medida em °C pelo software de simulação.

As figuras 165 a 166 mostram o comportamento da temperatura no AMBIENTE FECHADO.

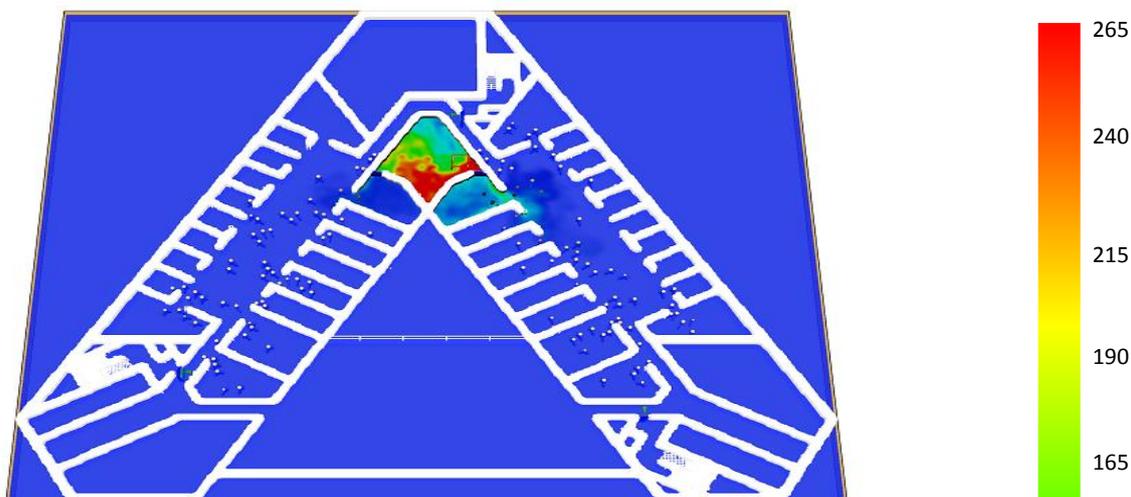


Figura 165 – Variação da temperatura no tempo de 5s (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

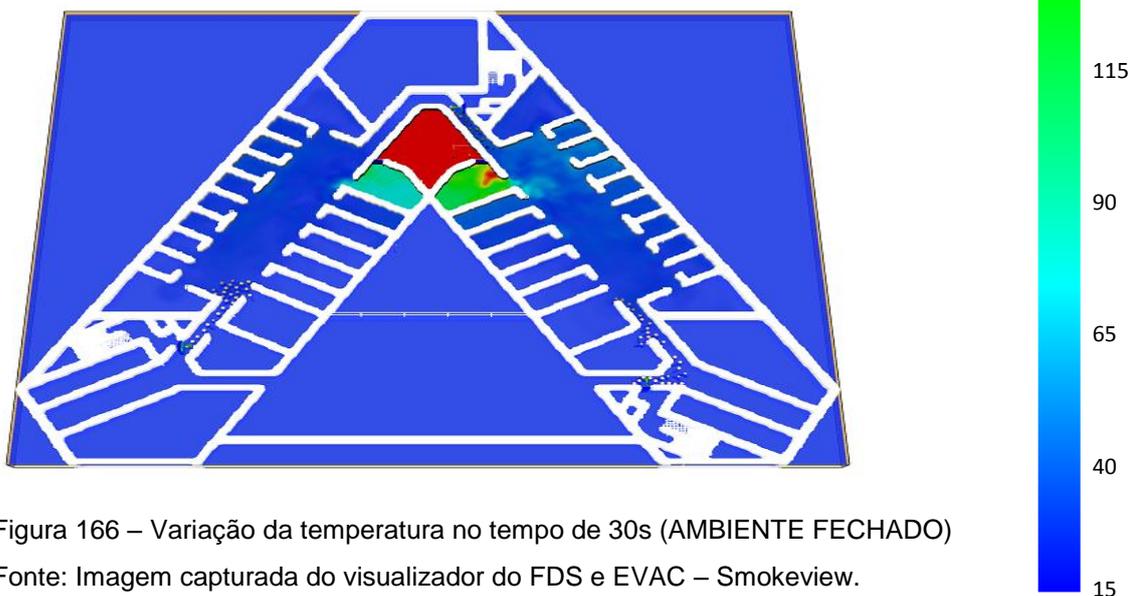


Figura 166 – Variação da temperatura no tempo de 30s (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

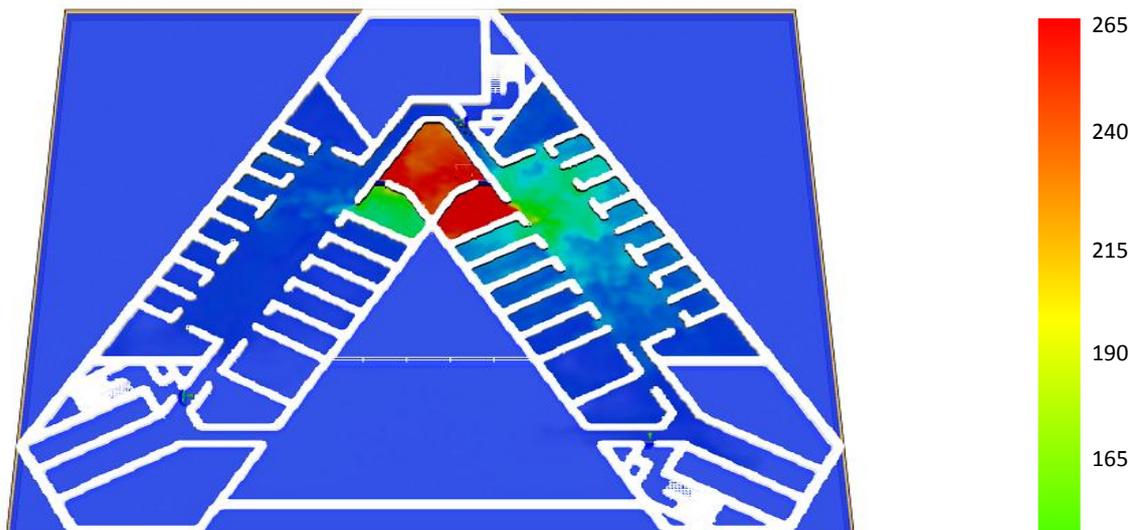


Figura 167 – Variação da temperatura no tempo de 60s (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

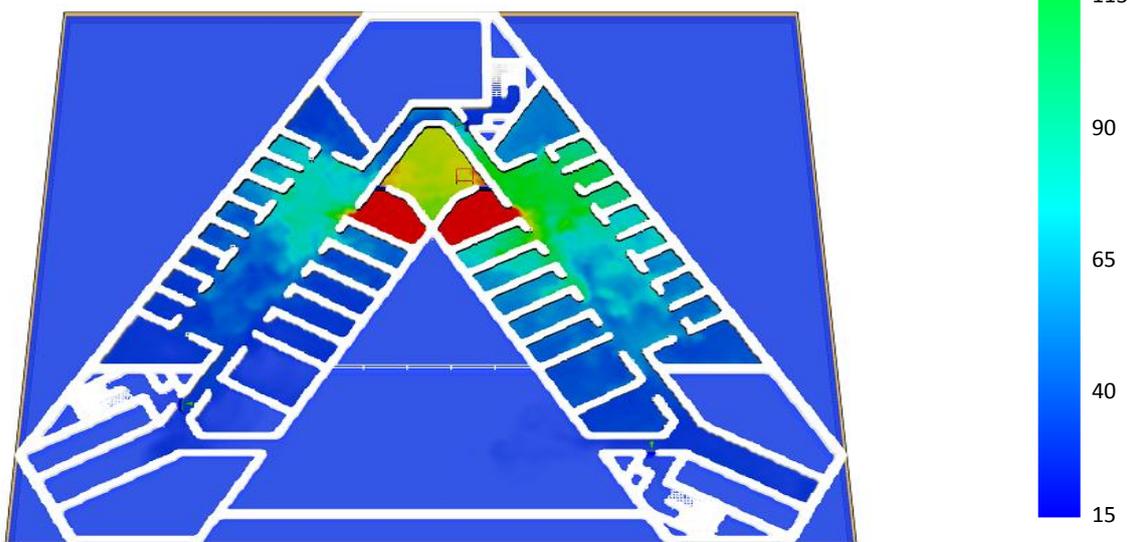


Figura 168 – Variação da temperatura no tempo de 90s (AMBIENTE FECHADO).

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Já para o AMBIENTE ABERTO, as temperaturas são visualizadas através das Figuras 169, 170, 171 e 172.

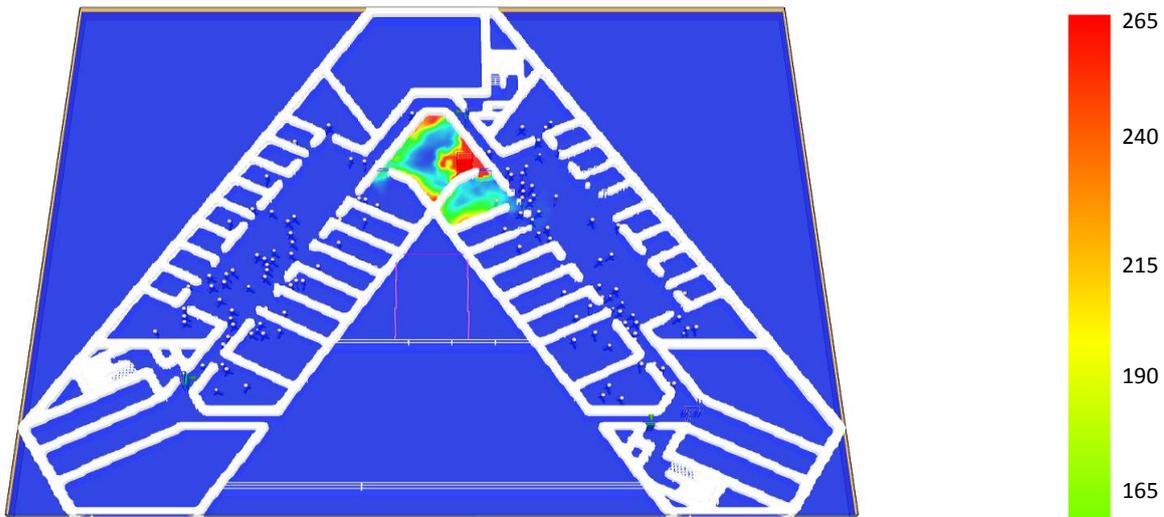


Figura 169 – Variação da temperatura no tempo de 5s (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

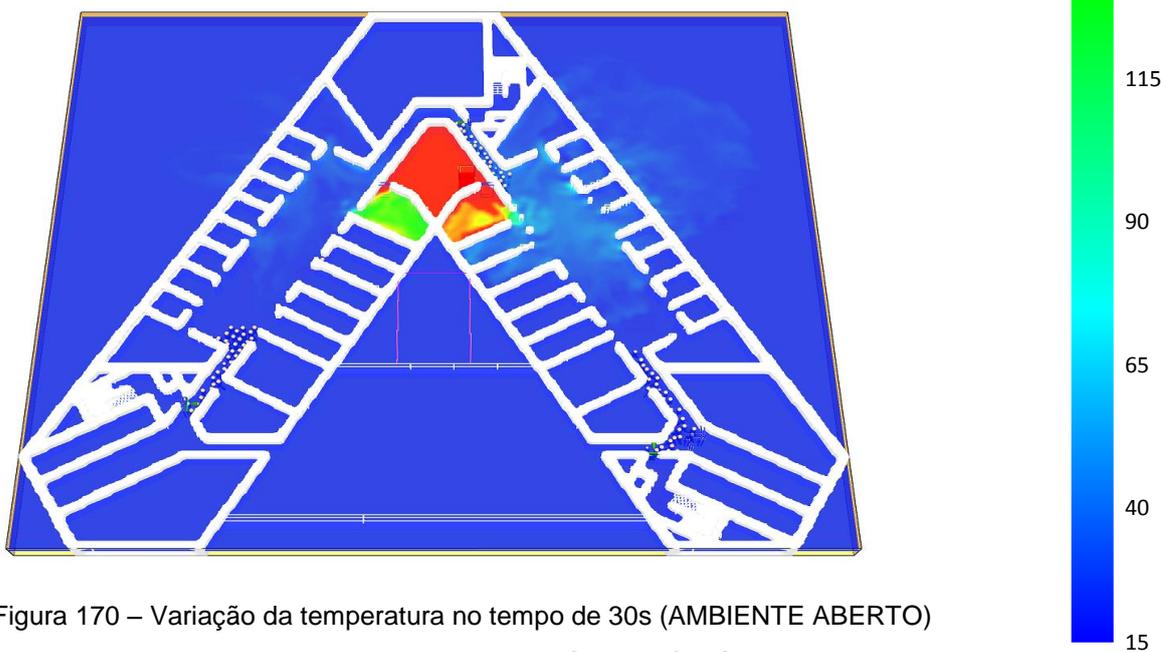


Figura 170 – Variação da temperatura no tempo de 30s (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

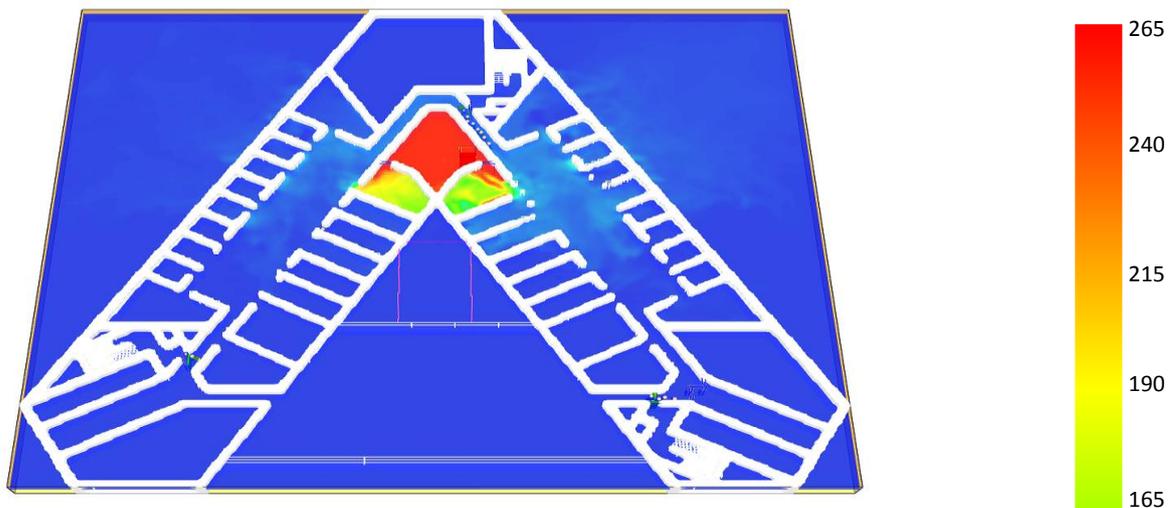


Figura 171 – Variação da temperatura no tempo de 60s (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

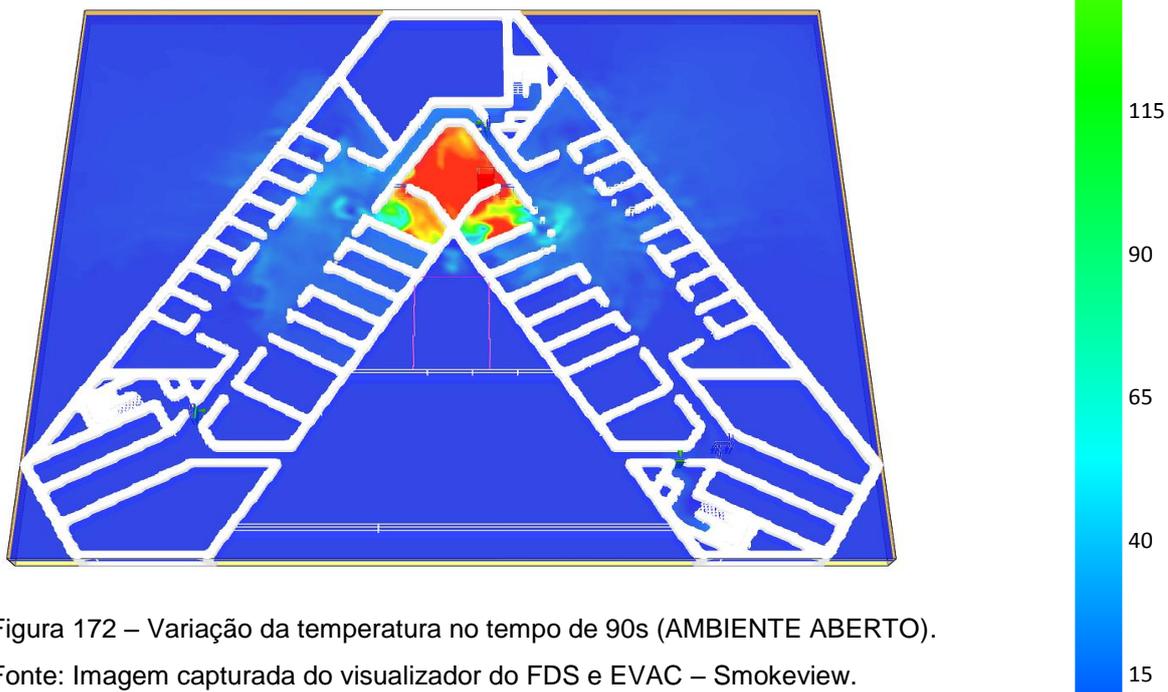


Figura 172 – Variação da temperatura no tempo de 90s (AMBIENTE ABERTO).

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Observa-se que as situações se diferenciam pela temperatura próxima ao foco de incêndio. No AMBIENTE FECHADO, a temperatura mais elevada não permanece no local da ignição, o calor é transportado para as salas próximas. Já no AMBIENTE ABERTO, pelo menos período de tempo, a temperatura mais elevada permanece no local de origem do incêndio.

Para as Saídas, tem-se a Saída 2 na pior situação no AMBIENTE FECHADO, pois a temperatura vai aumentando no hall próximo a ela, atingindo aproximadamente 165°C. O que no AMBIENTE ABERTO mantém praticamente constante a 40°C. A temperatura aumenta nos ambientes onde a fumaça vai penetrando, mas por ela chegar mais rápido às Saídas 1 e 2, a temperatura vai primeiro aumentando nestas saídas no AMBIENTE FECHADO do que na situação do AMBIENTE ABERTO.

A velocidade de movimento da fumaça também foi mensurada, o que pode ser visto nas Figuras 173, 174, 175 e 176, para AMBIENTE FECHADO, em parcelas do período de tempo de 5 a 90 segundos.

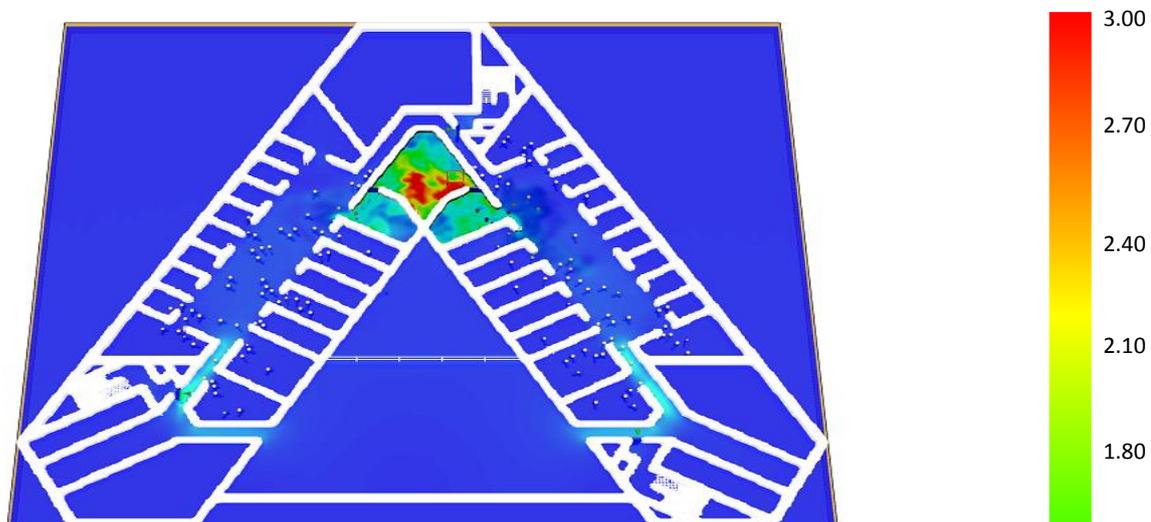


Figura 173 – Velocidade do ar no tempo de 5s (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.



Figura 174 – Velocidade do ar no tempo de 30s (AMBIENTE FECHADO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

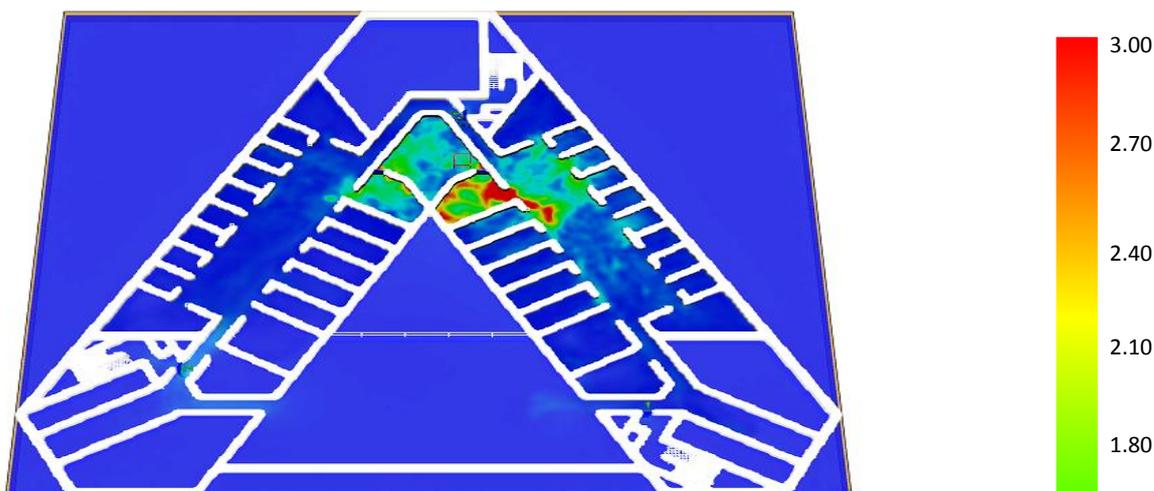


Figura 175 – Velocidade do ar no tempo de 60s (AMBIENTE FECHADO)  
 Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

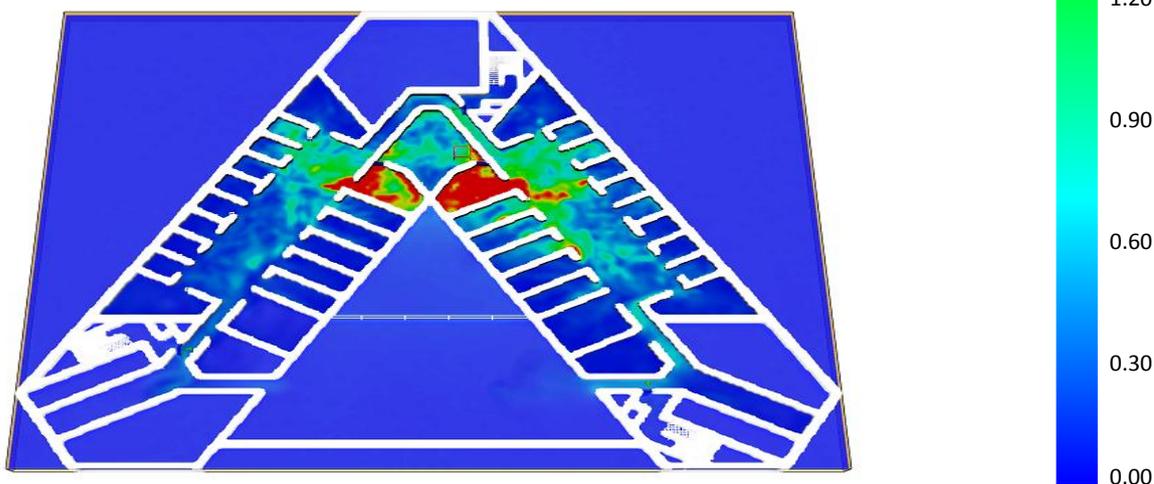


Figura 176 – Velocidade do ar no tempo de 90s (AMBIENTE FECHADO)  
 Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Nota-se que a velocidade do ar aumenta e após o tempo de 60s diminui nos corredores de entrada das Saídas 1 e 3. Isso talvez possa ser explicado pelo movimento das pessoas que estão presentes nestes corredores até o tempo de 60s, influenciando os valores da velocidade do ar.

A velocidade do ar no AMBIENTE ABERTO é representada pelo mesmo período de tempo pelas Figuras 177, 178, 179 e 180.

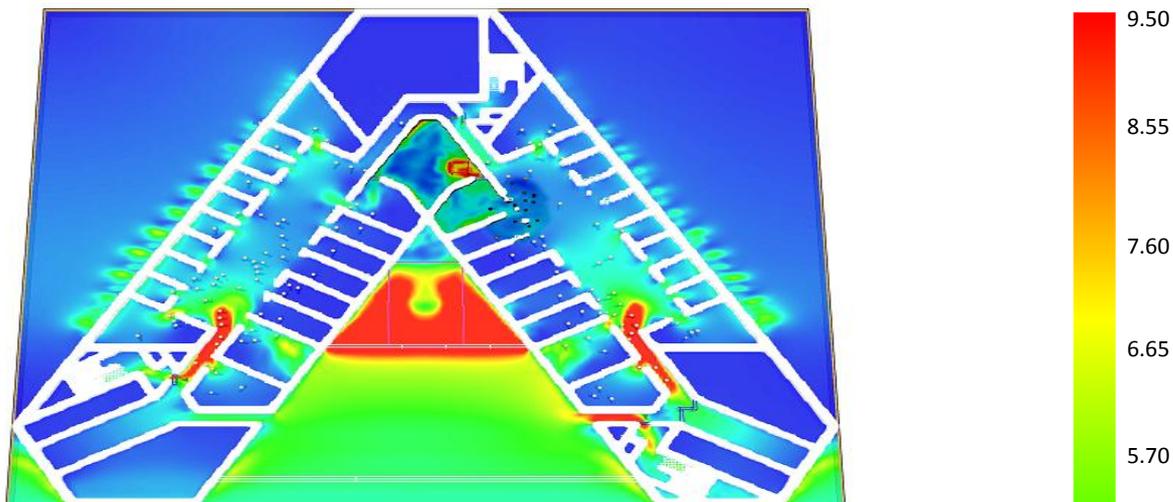


Figura 177 – Velocidade do ar no tempo de 5s (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

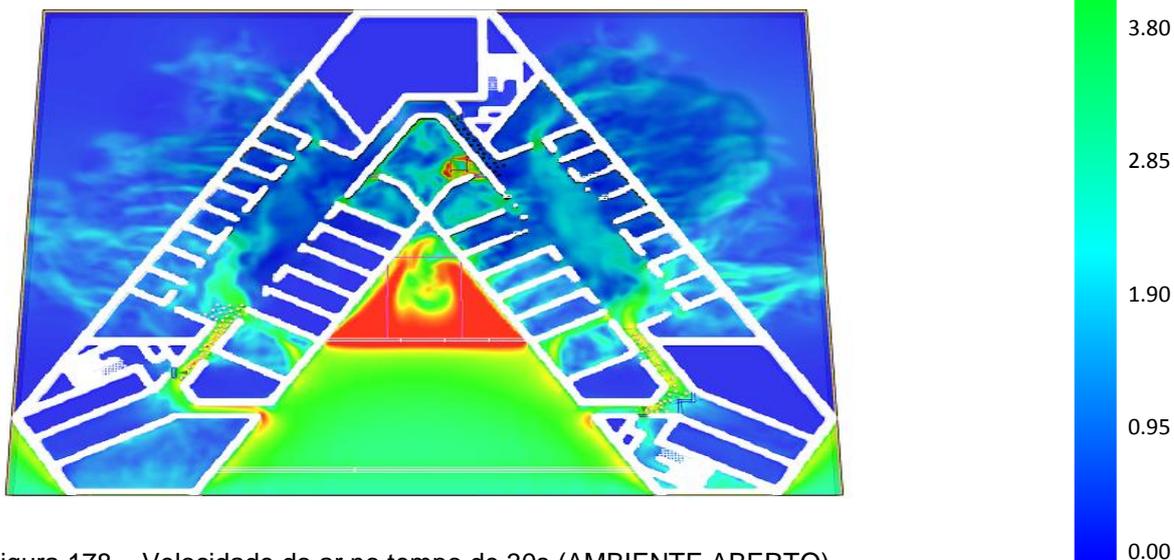


Figura 178 – Velocidade do ar no tempo de 30s (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

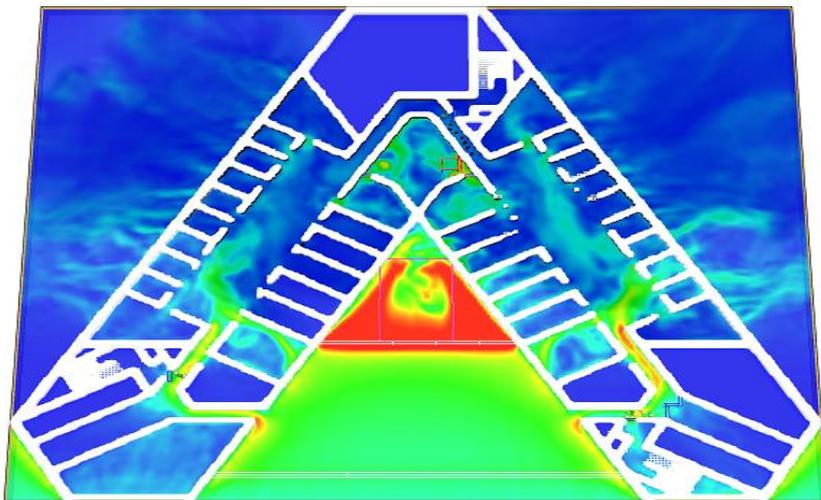


Figura 179 – Velocidade do ar no tempo de 60s (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

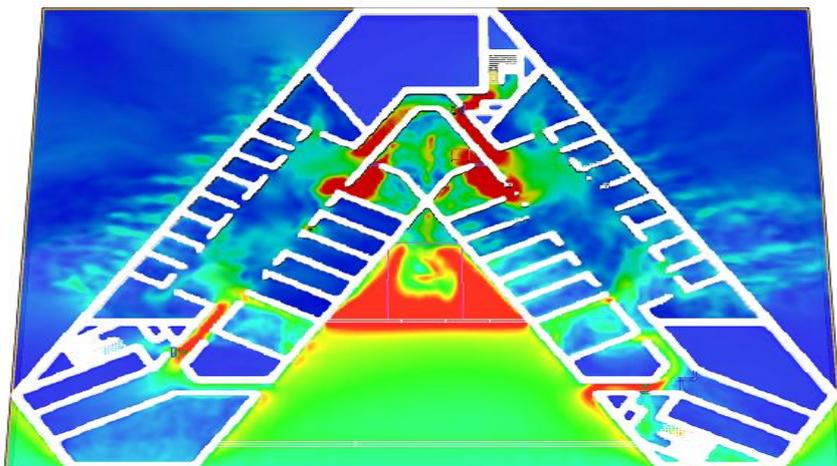


Figura 180 – Velocidade do ar no tempo de 90s (AMBIENTE ABERTO)

Fonte: Imagem capturada do visualizador do FDS e EVAC – Smokeview.

Nota-se que a média de velocidade no AMBIENTE ABERTO é bem maior que no caso do AMBIENTE FECHADO. A velocidade que entra pelas proximidades das Saídas 1 e 3 é maior que a velocidade da fumaça, por isso evita-se que a fumaça atinja essas saídas.

#### 4.2.2.2.3 Áreas protegidas para os dois edifícios

Outra análise foi feita colocando-se áreas protegidas ligadas diretamente às Saídas para aumentar o tempo de movimento até uma saída segura nos casos onde há a ventilação natural dos dois edifícios escolhidos, isto é, as áreas protegidas foram consideradas na Simulação 3 (AMBIENTE ABERTO).

A Figura 181 destaca o local onde foi adequada a área protegida no Bloco C do Brasil 21.

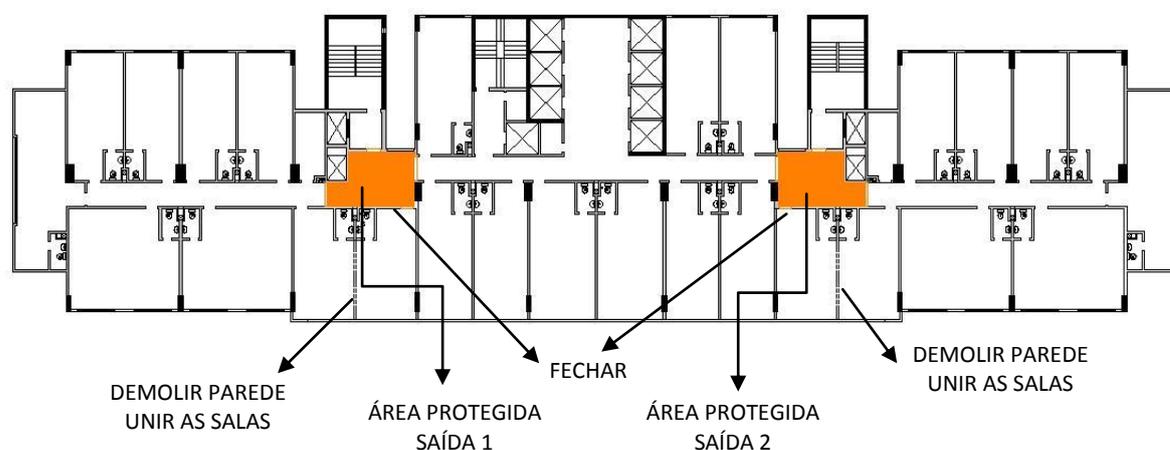


Figura 181 – Planta baixa do Bloco C do Brasil 21 – área protegida

Fonte: Planta adaptada de plantas executivas cedidas pela administração do edifício.

A área protegida deve ter paredes resistentes ao fogo por 4 horas (como especificação da escada) e ser dotada de portas corta-fogo. Além disso, o sistema de pressurização também deve ser dimensionado para esta área.

Os Gráficos 31 e 32 mostram o número de pessoas que atingiram cada uma das saídas do Bloco C do Brasil 21 e o tempo gasto para chegar a essas áreas comparando com as informações especificadas anteriormente demonstradas no Gráfico 13 (sem a área protegida), para uma população total de 146 pessoas.

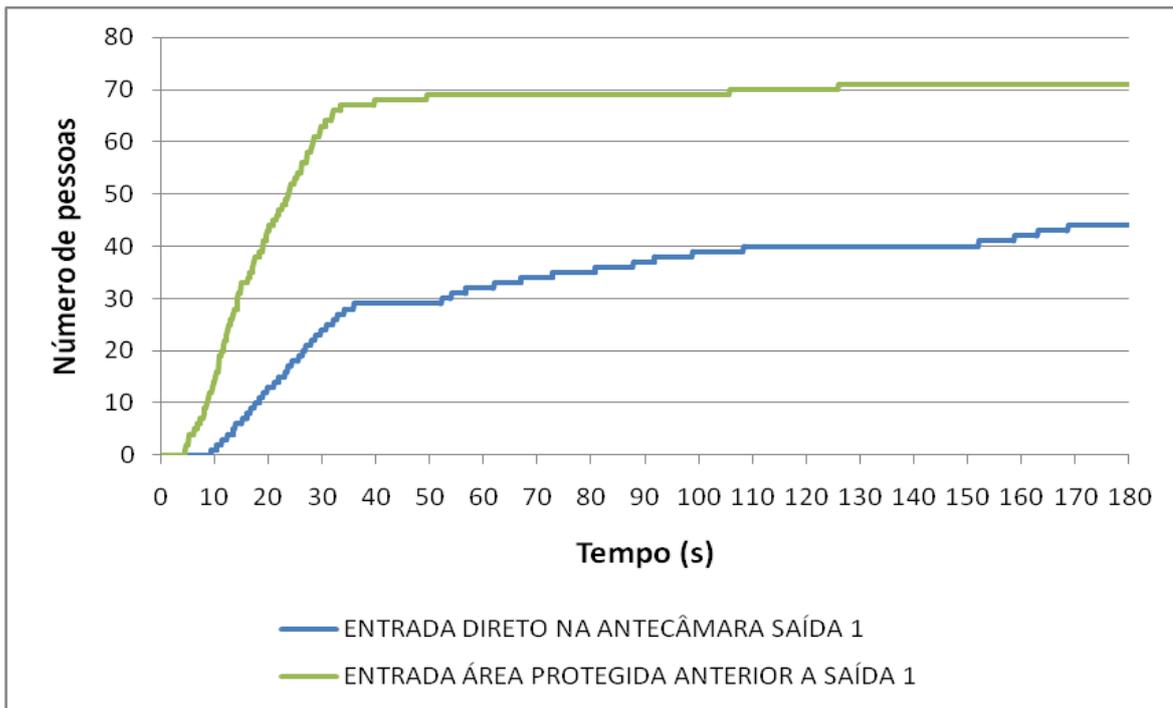


Gráfico 31 – Número de pessoas (direto pela Saídas e pela área protegida especificada) X Tempo (s) – SAÍDA 1 (Bloco C – Brasil 21)

Fonte: Da autora.

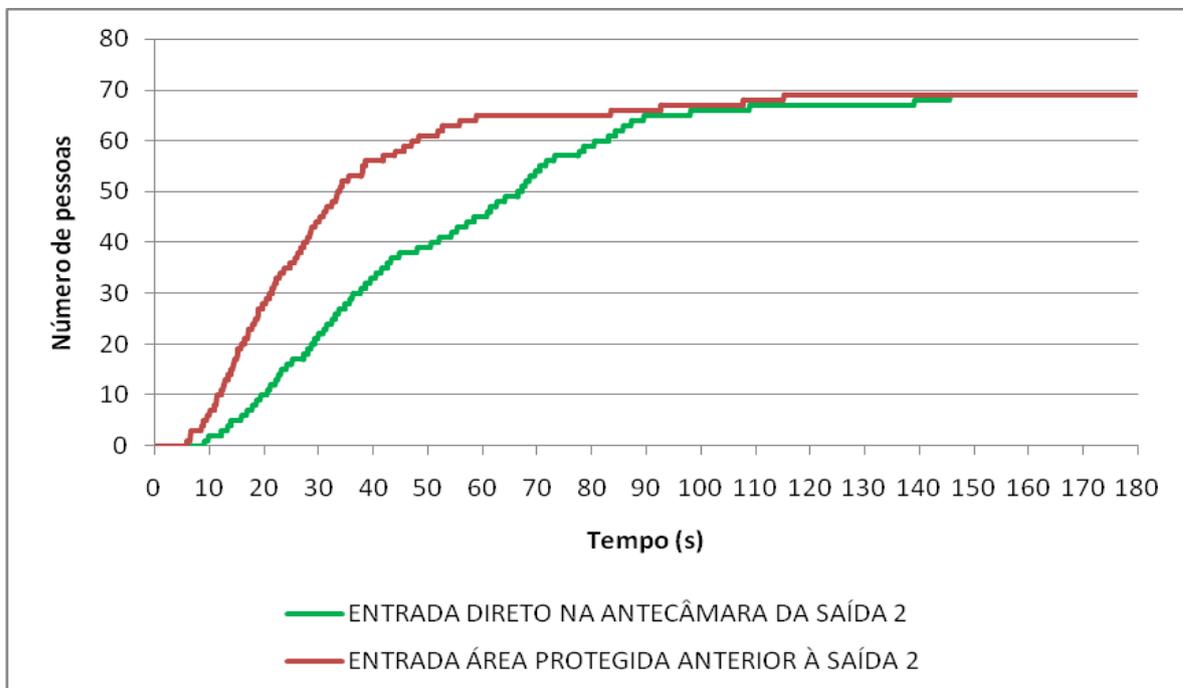


Gráfico 32 – Número de pessoas (direto pela Saídas e pela área protegida especificada) X Tempo (s) – SAÍDA 2 (Bloco C – Brasil 21)

Fonte: Da autora.

Nos dois gráficos a linha de Entrada na Área Protegida demonstra que o tempo para atingir uma área protegida é menor que entrar direto na antecâmara da escada de emergência.

Um ponto interessante observado nos Gráficos 31 e 32 é que somente a Saída 1 houve um maior número de pessoas, de 44 pessoas (39%) para 71 pessoas (63%) do total de 113 pessoas que atingiram uma saída no tempo de simulação, do que nas simulações sem a área protegida.

Na Saída 2, o número de pessoas nas duas situações (sem e com área protegida) se manteve constante: 69 (61%) do total de 113 pessoas.

Para o Commerzbank tem-se a situação demonstrada na Figura 182.

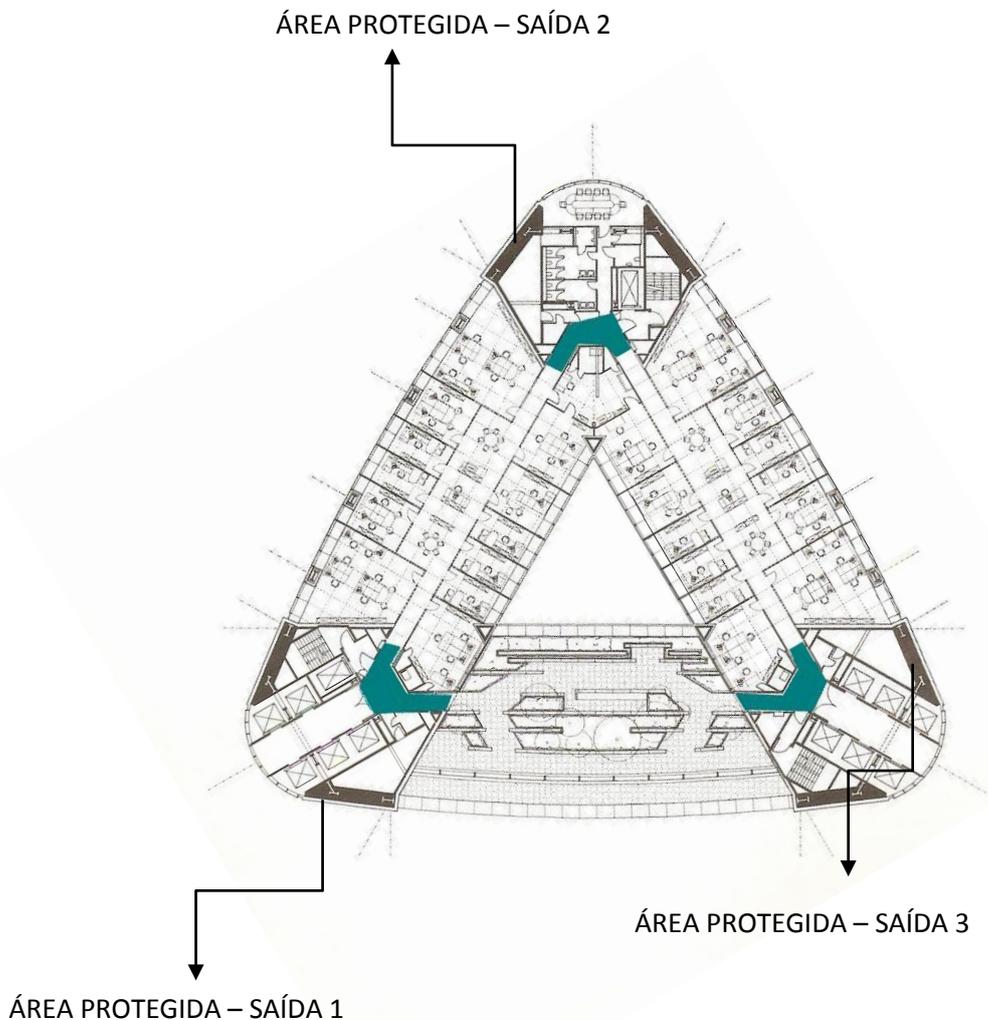


Figura 182 – Planta baixa do Commerzbank Tower – área protegida.

Fonte: Adaptado de Sir Norman Foster and Partners, Commerzbank, Frankfurt am Main, Editora Axel Menges, London, 1997.

Os Gráficos 33, 34 e 35 demonstra as mesmas condições para o Commerzbank, para cada saída de emergência, comparadas com o Gráfico 24.

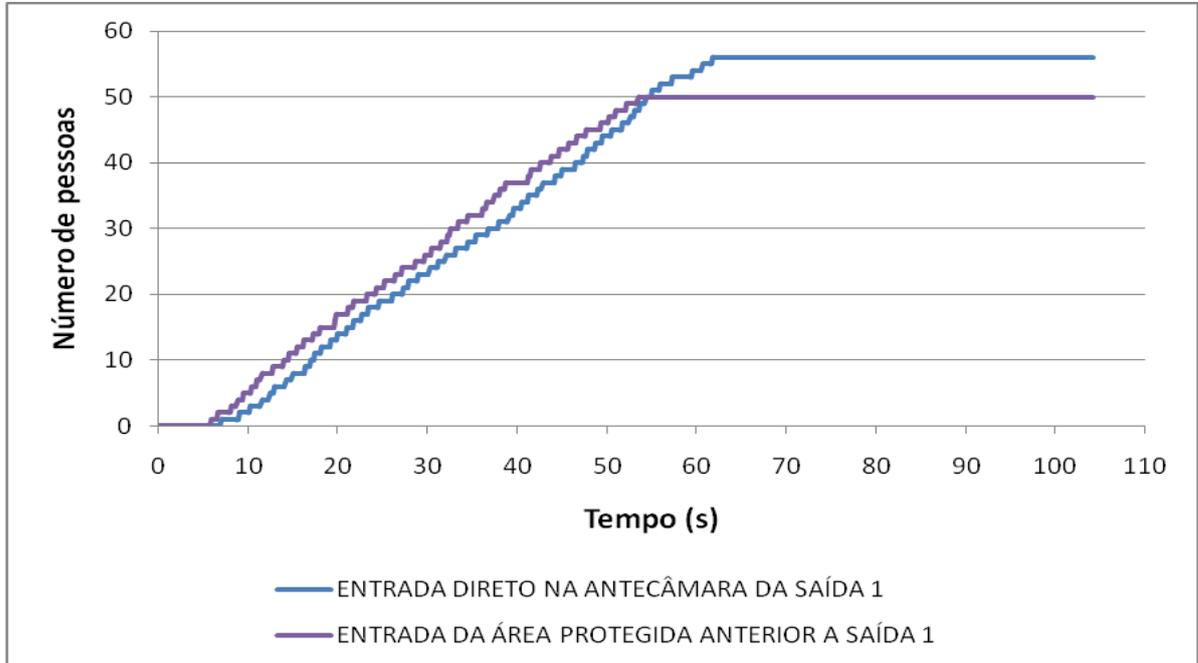


Gráfico 33 – Número de pessoas (direto pela Saídas e pela área protegida especificada) X Tempo (s) – SAÍDA 1 (Commerzbank Tower)

Fonte: Da autora.

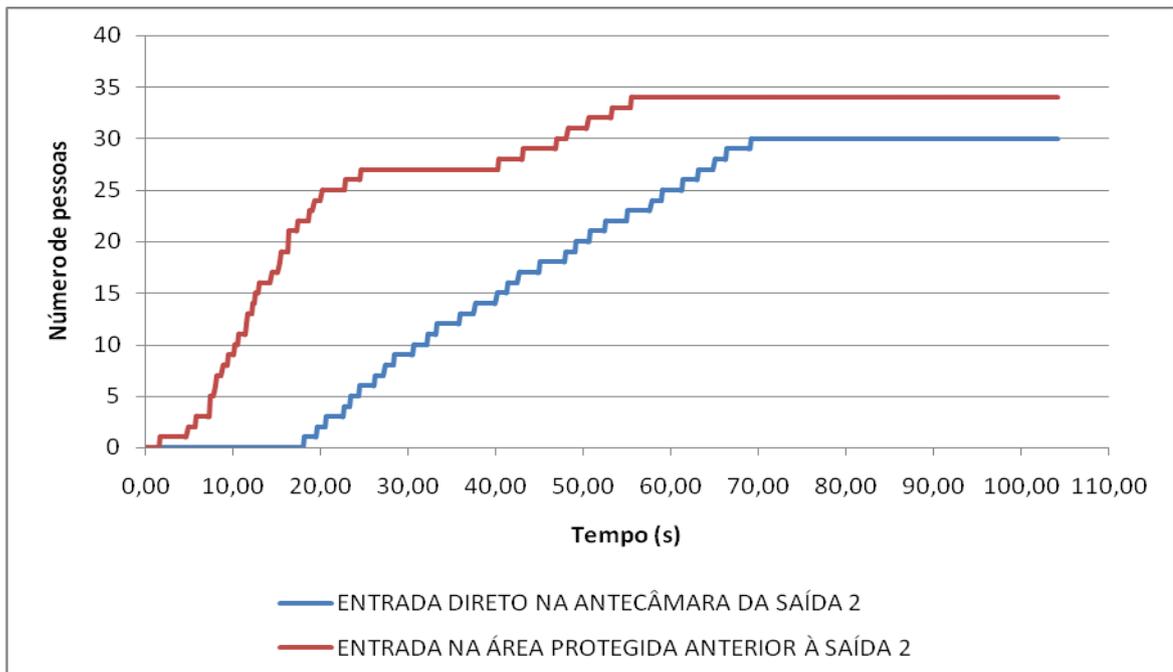


Gráfico 34 – Número de pessoas (direto pela Saídas e pela área protegida especificada) X Tempo (s) – SAÍDA 2 (Commerzbank Tower)

Fonte: Da autora.

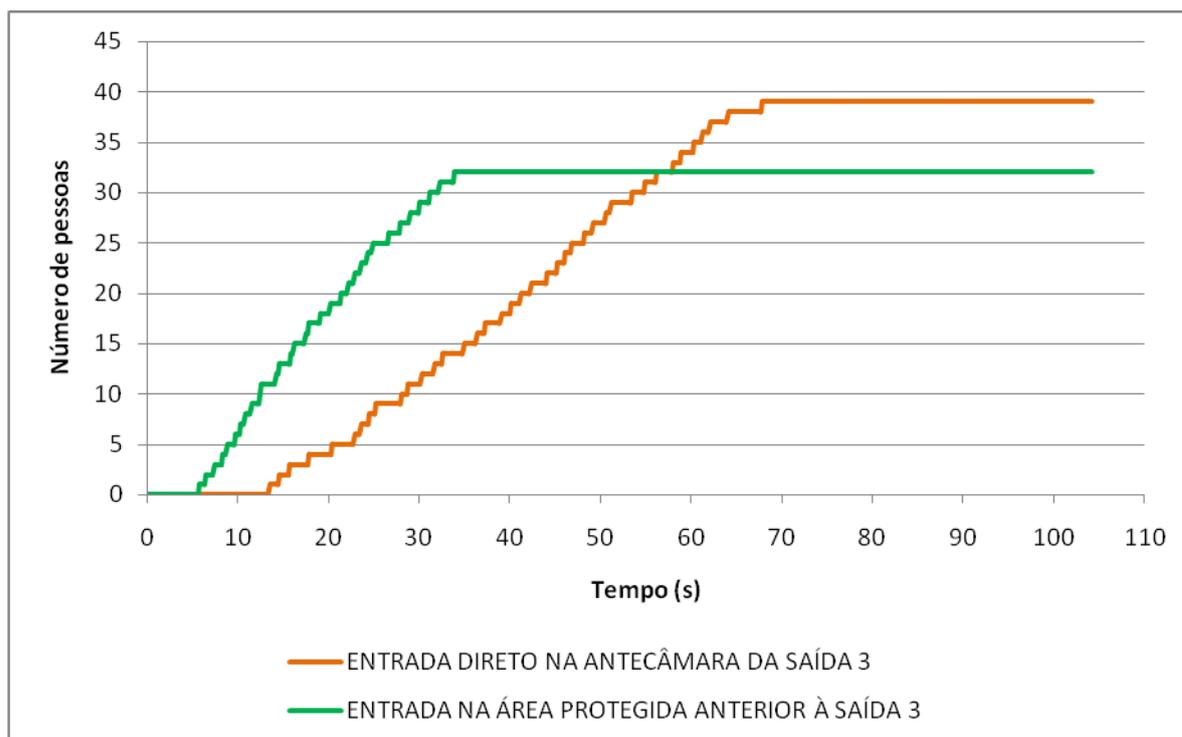


Gráfico 35 – Número de pessoas (direto pela Saídas e pela área protegida especificada) X Tempo (s) – SAÍDA 3 (Commerzbank Tower)

Fonte: Da autora.

Analisando os Gráficos 33, 34 e 35, nota-se que somente na Saída 2 houve um maior número de pessoas que atingiram a área protegida em relação àquelas que atingiram diretamente a antecâmara da escada de emergência (de 30 pessoas - 23% - para 34 pessoas - 27% - do total de 125 pessoas).

Os resultados das Saídas 1 e 3 com as áreas protegidas foram duvidosos, pois nas duas situações houve uma diminuição do número de pessoas que atingiram a área protegida em relação àquelas que atingiram diretamente a antecâmara. Os resultados para a Saída 1 foram de 56 pessoas (43%) para 50 (40%) e para a Saída 2 foram de 39 pessoas (30%) para 32 (26%) para o total de 125 pessoas.

Outro ponto interessante observado, e que também causa dúvida, é que o número total de pessoas que atingiram diretamente a antecâmara foi de 125 pessoas, enquanto que o total com a área protegida é de 116 pessoas.

Talvez houvesse a necessidade de se realizar mais simulações além das três simulações realizadas para esta pesquisa, pois apresentariam resultados diferentes.

O que se pode concluir é que, em ambos os edifícios, a área protegida ajuda no ganho de tempo para evacuação segura dos ocupantes do pavimento, mantendo-os protegidos dos efeitos do incêndio. Mas acredita-se que como esta área deve possuir exigências como paredes resistentes ao fogo e portas corta-fogo não é de fácil aceitação por parte dos proprietários dos edifícios.

Além disso, a NBR 9077/2001 especifica o uso de uma área protegida denominada área de refúgio, onde a obrigatoriedade de existência desta área se dá nos seguintes casos, relativos à classe de ocupação constante na Tabela 1 do anexo da norma (item 4.10.2 da NBR 9077/2001, p. 20):

- em prédios institucionais de ocupações H-2 (locais onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais, como por exemplo, asilos, orfanatos, reformatórios sem celas, entre outros) e H-3 (hospitais e assemelhados) quando classificados por suas alturas superiores a 6 metros; e
- em prédios institucionais e educacionais H-1 (hospitais veterinários e assemelhados), H-2 e E (educacional e cultura física) com áreas acima de 5000m<sup>2</sup>.

Observa-se que não há qualquer exigência na implantação de áreas de refúgio em edifícios de escritórios, o que também pode ser de difícil aceitação por parte dos proprietários dos prédios, já que não é obrigatório para aprovação dos projetos.

Talvez por causa da construção de edifícios cada vez mais altos, a área protegida é de grande importância por causa da verticalidade dos prédios, e da necessidade de se ganhar tempo no movimento seguro de seus ocupantes até um local seguro.

## CONCLUSÃO

Prédios cada vez mais altos estão sendo construídos atualmente. Isto porque a busca por desafios, por parte de arquitetos, projetistas, engenheiros e construtores, e o emprego de tecnologias avançadas torna isso possível.

Projetos de edifícios em altura devem superar, também, os desafios dentro da Segurança contra Incêndio. E devido a sua verticalidade, sem esquecer que ele normalmente abriga uma população maior do que uma edificação térrea ou mais baixa, o movimento de evacuação das pessoas talvez seja o maior desafio em relação a provisão de rotas de saídas seguras e eficientes dentro do edifício.

Atualmente, vem sendo discutido um conceito que se emprega em todos os níveis de conhecimento, a sustentabilidade. Sua definição ainda gera discussão, mas independente disso, a preocupação com o meio ambiente é peça fundamental para os edifícios sustentáveis ou também chamados edifícios verdes (*greenbuildings*).

Os edifícios verdes ou sustentáveis estão relacionados diretamente à aplicação de estratégias bioclimáticas em projeto. A ventilação é uma delas. A ventilação é aplicada para trazer conforto aos usuários dos ambientes do edifício. E pode ser também uma estratégia de segurança contra incêndio se aplicada para tal fim, o que foi uma das intenções deste trabalho.

Observou-se que com os resultados das simulações, a ventilação natural aplicada ao pavimento influencia no movimento da fumaça em seu interior, independentemente dele ser um edifício verde, como o Commerzbank, em Frankfurt, Alemanha, ou um edifício típico de escritórios, como o Bloco C do Complexo Brasil 21 em Brasília, que não apresenta características “verdes”.

Todas as simulações de incêndio e evacuação estão diretamente ligadas ao tempo de movimento das pessoas dentro do pavimento. O tempo de escape é influenciado pela presença da fumaça dentro do edifício.

A fumaça, através de suas características, pode prejudicar a saída segura dos ocupantes do prédio, dependendo das condições de visibilidade, temperatura e propagação nos ambientes.

Além disso, a toxicidade dos gases é outro fator que influencia a velocidade de deslocamento das pessoas no edifício.

Assim, nota-se que os resultados da altura da camada de fumaça nos ambientes, relacionados com a visibilidade e a toxicidade dos gases, são mais desfavoráveis para o ambiente fechado. Entretanto, essa diferença é pequena em relação aos efeitos que a fumaça produz em ambos os casos.

Em relação ao software utilizado para a obtenção desses resultados há vantagens e desvantagens que foram observadas.

O programa FDS utilizado para a realização das simulações de incêndio juntamente com seu aplicativo de simulação de movimento de evacuação, o EVAC, é relativamente simples de ser utilizado. Mas em relação a sua geometria, por ser em malha retilínea, dificulta sua aplicação quando se trata de edifícios com formas mais orgânicas e/ou circulares como foi o caso do Commerzbank Tower. Foi necessário modificar em parte sua forma, mantendo a área de escritórios e das escadas, sem prejuízo para a propagação da fumaça e do movimento de evacuação que foram considerados nesta pesquisa. Acredita-se que para os edifícios altos projetados atualmente, que possuem as mais variadas formas, seja mais complicada a inserção da geometria no *software*.

Quando executado o FDS para o Commerzbank com a aplicação da ventilação natural, a simulação no tempo aproximado de 100 segundos é interrompida por causa da “instabilidade numérica”, que pode ter ocorrido devido à necessidade de memória para o cálculo, visto que o programa FDS considera módulo por módulo da malha. É possível que com a realização de mais simulações, diminuindo a quantidade de células, com menor precisão, por exemplo, poderia se verificar o que ocasionou a instabilidade numérica.

A forma do edifício também pode influenciar no movimento da fumaça dentro dele e da entrada de ar natural através de suas fachadas posicionadas de acordo com as trajetórias solares em edifícios verdes. Com a comparação entre a forma dos dois edifícios, notou-se que a forma triangular do Commerzbank, com laterais convexas, capazes de captar a luz do dia e os ventos, em relação ao conforto térmico, é mais favorável ao movimento de evacuação.

Enquanto que o Commerzbank possui uma planta triangular, o outro edifício escolhido para as simulações, o Bloco C do Brasil 21, possui uma planta retangular, bastante diferentes entre si quanto a forma do edifício, com características construtivas e de projetos diversas.

O posicionamento das escadas em planta parece ser mais favorável no caso do Commerzbank, pois elas estão nas extremidades do triângulo e são três saídas de emergência, enquanto que na planta do Bloco C do Brasil 21, elas se encontram posicionadas mais ao centro.

A aplicação da ventilação em um só ponto (a nordeste no Bloco C do Brasil e a sudoeste no Commerzbank) prova, através das simulações, que dependendo do posicionamento das escadas em relação à entrada de ar no edifício prejudica algumas saídas e favorece outras.

Com a ventilação noroeste aplicada nas simulações de incêndio e evacuação do Bloco C do Brasil 21, a área protegida criada na saída próxima a janela onde entra esta ventilação (Saída 2), faz com que o vento não chegue a outra parte do pavimento após a área protegida, onde se localiza o queimador e a Saída 1. Verificou-se que a ventilação natural aplicada a este edifício favoreceu a Saída de emergência mais próxima a abertura por onde ela entra (Saída 2), ganhando um tempo maior até que a fumaça chegasse ao hall desta saída. Observando-se também que a fumaça, nessas condições, atinge mais rapidamente a Saída oposta à abertura de entrada de ventilação natural (Saída 1).

No caso do Commerzbank, a ventilação que usualmente entra pelos jardins foi considerada para as simulações por causa de suas características verdes.

O átrio também presente no edifício do Commerzbank é uma estratégia bioclimática bastante utilizada em edifícios verdes em relação a sua capacidade de obtenção de luz e ventilação natural. E os jardins suspensos específicos a este edifício fazem com que a ventilação se movimente dentro dele e atinja todos os pavimentos. Além de evitar, dependendo do partido adotado, uma planta profunda, o que não é o caso.

A ventilação pode ser, ou não, aliada a propagação de fumaça no edifício. Nas simulações realizadas a ventilação aplicada foi aliada, devido a sua velocidade de entrada no edifício impedindo que a fumaça se propague mais rapidamente em todas as direções como visto nas simulações onde as janelas foram consideradas fechadas.

Através da análise das simulações, é certo que a ventilação natural influencia na propagação da fumaça, mas considerando outras variáveis como a temperatura e velocidade do ar, que possuem influência direta no deslocamento das pessoas no edifício.

O tempo de escape é alterado devido a todos estes fatores.

A visibilidade das pessoas na ocorrência de incêndio também influencia na velocidade do movimento de evacuação, e pode acarretar um maior ou menor tempo gasto para saída até um local seguro, que seria uma área protegida ou área de descarga externa ao edifício.

Com todas estas análises de simulações de incêndio e evacuação, considerou-se também a criação de uma área protegida a fim de promover uma melhoria no tempo gasto para evacuação.

Em relação à área protegida, ainda há muito o que ser pesquisado e quais condições em que ela deve ser aplicada, mesmo sabendo que a NBR 9077/2001 – Saída de emergência em edifícios exige a aplicação de uma área de refúgio capaz de fazer com que as pessoas possam ganhar tempo de escape quando a atinge, mas somente em algumas classes de ocupação, como hospitais e escolas, dependendo da altura do edifício e da área em planta.

Em geral, observou-se que o ponto de colocação da ventilação pode ser favorável como estratégia de segurança contra incêndio e até como controle da fumaça. Neste caso é possível unificar a ventilação natural como estratégia bioclimática e estratégia de segurança contra incêndio.

Ela aplicada corretamente pode ajudar no que diz respeito a um ganho de tempo para saída de seus ocupantes em edifícios altos, visto que nesses tipos de edificações, o tempo para saída até um local seguro (área externa) é maior comparando-se a edificações mais baixas ou térreas.

Como propostas de continuidade desta pesquisa, podem ser sugeridos alguns trabalhos como: a realização de simulações computacionais de incêndio e evacuação entre os pavimentos, considerando a propagação da fumaça na vertical e a influência da ventilação natural nesta movimentação, e conseqüentemente a análise do tempo gasto pelas pessoas, vencendo os diversos andares até a descarga; a realização de simulações analisando a influência efetiva da ventilação do átrio na propagação da fumaça e no movimento de evacuação.

Podem ser testadas outras velocidades de entrada de ar natural no edifício, como também diferentes leiautes, como a planta livre, bastante utilizada na concepção de escritórios modernos.

Outros *softwares* de simulação de incêndio e de movimento de evacuação podem ser utilizados para comparação e validação de resultados mais coerentes e mais próximos da realidade.

Enfim, as estratégias bioclimáticas e as estratégias de segurança contra incêndio podem trabalhar juntas na previsão de medidas capazes de garantir a proteção da vida.

## REFERÊNCIAS

### Bibliografia:

ALENCASTRO, J. P. U.; CARTANA, R. P.; PEREIRA, F. O. R. Oportunidades e limitações para bioclimatologia aplicada ao projeto arquitetônico. Estudo de caso em Florianópolis-SC. **Anais do ENTAC**, 2006.

ALMEIDA, E.; BÓGEA, M.; REBELLO, Y. Arquiteturas e estruturas e histórias. *Arquiteturas & Estruturas*. **Revista AU**, ed.143. São Paulo, Editora PINI, fev. 2006.

ALVES, A. B. C. G. **Incêndio em edificações**: a questão do escape em prédios altos em Brasília (DF). Dissertação de mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, Jul. 2005.

ALVES, A. B. C. G.; BRAGA, G. C. B.; CAMPOS, A. T. Simulação computacional de incêndio aplicada ao projeto de arquitetura. **7º Seminário Internacional. Espaço Sustentável – Inovações em edifícios e cidades**. São Paulo: NUTAU/USP., 2008.

AMORIM, C. N. D. Avaliação ambiental integrada e simulação computacional: interfaces, limitações e potencialidades. **Apostila da Disciplina Ateliê de Tecnologia – Projeto Ambiental Integrado**. 2º semestre 2006.

\_\_\_\_\_. Conforto térmico: variáveis e índices. **Apostila da Disciplina Ateliê de Tecnologia – Projeto Ambiental Integrado**. 2º semestre 2006.

ANDERSOM, D. A.; TANNEHILL, J. C.; PLETCHER, R. H. **Computational fluid mechanics and heat transfer**. New York: Taylor & Francis, 1984.

**ARQUITETURAS do Mundo. Torres de hoje e de amanhã**. V.2. Mídia: DVD. Revista Arquitetura e Construção. Editora Abril. 2008.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações**. 1990.

\_\_\_\_\_. **NBR 9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.** 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 9077 – Saídas de Emergência em edifícios.** Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 13434-1 – Sinalização de segurança contra incêndio e pânico.** Parte 1: Princípios de projeto. 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 14024 – Registro de atividades de bombeiros.** 1997.

BERTO, A. F. **Fumaça no incêndio – escadas enclausuradas com antecâmaras e ventilação natural através de duto.** Número 095. Coletânea Pini de Incêndios. São Paulo, 1988.

\_\_\_\_\_. **Gestão da segurança contra incêndio em edificações.** Curso Questões atuais da segurança contra incêndio em edificações. São Paulo: IPT, 1998.

\_\_\_\_\_. **Medidas de proteção contra incêndio:** aspectos fundamentais a serem considerados no projeto arquitetônico dos edifícios. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.

\_\_\_\_\_. **Necessidade de definição da segurança contra incêndio no processo arquitetônico dos edifícios.** São Paulo: NUTAU/USP, 1996.

\_\_\_\_\_.; SEITO, A. I. **Fumaça no Incêndio – escadas de segurança.** N.089. Coletânea Pini de Incêndios. São Paulo, 1988.

\_\_\_\_\_.; TOMINA, J. C. Passarelas elevadas e outras rotas alternativas de fuga para a adaptação de segurança contra incêndio de edifícios altos de escritório. **Tecnologia de Edificações.** São Paulo: Editora Pini, 1988.

**BIOCLIMATIC Architecture/Architettura Bioclimatica.** ENEA – Italian commission for nuclear and alternativa energy sources. Editora De Luca, 1983.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural.** Maceió: Ed. UFAL, 2005.

BÓGEA, M.; LOPES, J. M.; REBELLO, Y. **Arquiteturas da engenharia, ou, Engenharias da arquitetura**. São Paulo: Editora Mandarim/Co-editora PINI, 2006.

BRAGA, G. C. B.; CAMPOS, A. T. Simulação Computacional Aplicada à Prevenção de Incêndio. Artigo. 11º. **Seminário Nacional de Bombeiros – SENABOM**. Porto Alegre, 2010.

BRITISH Standards Institution. **BS 5588 Fire precautions in the design and construction of buildings**. Part 4. Code of practice for smoke control in protected escape routes using pressurization. London, 1978.

\_\_\_\_\_. **BSI DD240**, 1999.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, vento e luz. Estratégias para o projeto de arquitetura**. Trad. Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2004.

CAMPOS, A. T. **Modelamento da propagação superficial de frentes de fogo com a equação KPZ**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física da Universidade de Brasília. Brasília, 2009.

\_\_\_\_\_. **Análise de parâmetros normativos relacionados com o tempo de fuga em situação de incêndio com vistas à validação e ao aprimoramento da legislação de saídas de emergência adotada no Distrito Federal**. Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. 2009.

CARIMBO verde. **Revista Técnica**. Ed. 155. Editora PINI, fev. 2010.

CHOW, W. K. Use of computational fluid dynamics for simulating enclosure fires. **Journal of Fire Sciences**, 13 (1995) 300-334.

\_\_\_\_\_. Waiting time for evacuation in crowded areas. **Building and Environment**, 42, 2007, p. 3757-3761

\_\_\_\_\_. Wind-induced indoor-air flow in a high-rise building adjacent to a vertical wall. **Applied Energy**, 77 (2004) 225-234.

CHOW, W. K.; CHOW, C. L. Evacuation with smoke control for atria in Green and sustainable buildings. **Building and Environment**, 40, 2005, p.195-200.

CHOW, W.K.; MENG, L. Analysis of key equations in a two-layer zone model and application with symbolic mathematics in fire safety engineering. **Journal of Fire Sciences**, 22 (2004) 97-124.

CIPI. CBMDF. **Relatório de Perícia. Boletins de fatores envolvidos nos incêndios e sinistros – 2002-2007**. Brasília, DF, 2007.

\_\_\_\_\_. **Relatório Anual de Perícia. CIPI-2008**. Anexo 04, do BG nº13, de 20 de janeiro de 2009.

CÓDIGO de Edificações do Distrito Federal. **Decreto nº 19.915 de 17 de dezembro de 1998**.

\_\_\_\_\_. **Lei nº. 2.105, de 08 de outubro de 1998**.

COMO obter uma certificação ambiental. **REVISTA AU**. Exercício Profissional. Ed. 195. Editora PINI, jun. 2010.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos. Conforto Ambiental**. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2003.

CRUZ, S. D.; SOARES, S. de O. **Pequena história do seguro**. Capítulo XXX. A Segurança contra Incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

DeHAAN, J. D. **Kirk's fire investigation**. 5. Ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

DEL CARLO, U. **A segurança contra incêndio no Mundo e no Brasil**. Capítulos I e II. A Segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

DIAS, C. M.; GONÇALVES, S. Consumo Sustentável: Muito Além do Consumo "Verde". **XXXI Encontro da ANPAC**. 2007.

DRYSDALE, D. **An introduction to fire dynamics**. John Wiley & Sons. England, 1999.

DUARTE, R. B.; RIBEIRO, I. S. R. **Coleta de dados de incêndio**. Capítulo XXIII. A Segurança contra Incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

DUTRA, L.; YANNAS, S. Análise de processos de projeto bioclimático. **Anais do ENTAC**, 2006.

ENGENHARIA do Vento. **Revista Técnica**. Ensaios. Ed. 156. Editora PINI, mar. 2010.

ENTREVISTA. Vanessa Gomes. **Revista Técnica**. Ed. 155. Editora PINI, fev. 2010.

ETRUSCO, Paula. **Reação ao fogo dos materiais e tempo de escape em edifícios de centros comerciais no Brasil**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG. 2002.

ETRUSCO, P.; GOUVEIA, A. M. C. Tempo de escape em edificações: os desafios do modelamento de incêndio no Brasil. **Revista Escola de Minas**. Vol. 55 (4): 257-261. Ouro Preto. Out/Dez 2002.

FAHY, R. F. Tools of the simulation of human behavior. **Fire Protection Engineering**, 16, p.19, 2002.

FAILLACE, R. R. **Escadas e saídas de emergência**. Porto Alegre: Editora Sagra, 1991.

FIRE Dynamics Simulator With Evacuation. **FDS+Evac, version 5**. Technical Reference and User's Guide. FDS 5.4.0, Evac 2.2.0. VTT Technical Research Center of Finland. Outubro, 2009.

FORNEY, G. P. e MOSS, W. F. Analyzing and exploiting numerical characteristics of zone fire models. **Fire Science & Technology**, 14 (1994) 49-60.

GIEDION, S. **Espaço, tempo e arquitetura. O desenvolvimento de uma nova tradição**. São Paulo: Editora Martins Fontes, 2004.

GILL, A.; NEGRISOLO, W.; OLIVEIRA, S. A. **Aprendendo com os grandes incêndios**. Capítulo III. A Segurança contra Incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

GOMES, A. G. **Sistemas de prevenção contra incêndios**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 1998.

HELBING, D.; FARKAS, I.; VICSEK, T. Simulating dynamical features of escape panic. **Nature**, 407, p.487-490 (2000).

IT 09/2004. **Compartimentação horizontal e compartimentação vertical.** Corpo de Bombeiros de São Paulo. São Paulo, 2004.

IT 11/2004. **Saídas de emergência em edificações.** Corpo de Bombeiros de São Paulo. São Paulo, 2004.

IT 15/2004. **Controle de Fumaça.** Corpo de Bombeiros de São Paulo. São Paulo, 2004.

JONES, W. W.; PEACOCK, R. D.; FORNEY, G. P.; RENEKE, P. A. CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport - Technical Reference Guide. **NIST Special Publication**, 1026. Washington, 2005.

KARLSSON, B.; QUINTIERE, J. G. **Enclosure fire dynamics.** Washington: CRC Press, 2000.

KATO, M. F.; SEITO, A. I. **Fumaça no incêndio – movimentação no edifício e seu controle.** Número 058. Coletânea Pini de Incêndios. São Paulo, 1988.

KORHONEN, T.; HOSTIKKA, S. FDS+Evac – Technical Reference + User's Guide. **VTT Technical Research Centre of Finland**, 2010.

KULIGOWSKI, E., **Review of 28 Egress Models.** Proceedings of NIST Workshop on Building Occupant Movement during Fire Emergencies. p. 66-88, Jun. 2004.

McGRATTAN, K. Fire Dynamics Simulator (version 4) – technical reference guide. **NIST Special Publication**, 1018. Washington, 2006.

MITIDIERI, M. L. **O comportamento dos materiais e componentes construtivos diante do fogo – reação ao fogo.** Capítulo V. A Segurança contra Incêndio no Brasil. Projeto Editora. São Paulo, 2008.

MELO, E. A. L. **Curso de instalações prediais de proteção contra incêndio.** FINATEC. Brasília, 1999.

OCCUPANT Behavior, Egress, and Emergency Communications. Comentários públicos. **NIST NCSTAR 1-7.** Rascunhos. 2005.

ONO, R. **Saídas de emergência.** Boletim técnico, n.4, ano I. GSI. São Paulo, fev. 1996.

\_\_\_\_\_. **Saídas de emergência, planos de abandono e brigada de incêndio.** Cursos Questões atuais da segurança contra incêndio em edificações. IPT, São Paulo, 1998.

\_\_\_\_\_. Sistema de escadas em edifícios altos – avaliação de sua estanqueidade à fumaça em situação de incêndio. **Anais do ENCAC**, 2001.

\_\_\_\_\_. **Um sistema nacional de coleta de dados de incêndio.** São Paulo: NUTAU/USP, 1996.

QUINTIERE, James G. **Principles of fire behavior**, Delmar Publishers (USA, 1998).

REGULAMENTO de Segurança contra Incêndio e Pânico do Distrito Federal (RSIP-DF). **Decreto nº 21361, de 20 de julho de 2000.**

REHM, R. G.; BAUM, H. R. The equations of motion for thermally driven, buoyant flows. **Journal of Research of the National Bureau of Standards**, 83, n.3, p.297-308, 1978.

**REVISTA Galileu.** Ed.127. Fev. 2002.

RODRIGUES, L. S. **Ventilação natural induzida pela ação combinada do vento e da temperatura em edificações.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto-MG. Ouro Preto, MG. 2008.

SAENZ, J. S. R.; SIRTOLI, J. R. Análise da eficiência na dispersão de fumaça das escadas enclausuradas protegidas via dinâmica dos fluidos computacional. **CILAMCE 2005.** Guarapari, ES, 2005.

SANTOS, G.; AGUIRRE, B. E. **A Critical Review of Emergency Evacuation Simulation Models**, NIST Workshop on Building Occupant Movement during Fire Emergencies, p 27, June 9-10, 2004.

SEMINÁRIO Construções Sustentáveis. **Painel 2 – Experiências práticas.** Câmara dos Deputados. Brasília, junho 2010.

SEITO, A. I. **Fumaça – produtos gasosos da combustão.** GSI/NUTAU – USP. 1995.

\_\_\_\_\_. **Fundamentos de fogo e incêndio**. Capítulo IV. A Segurança contra incêndio no Brasil. Projeto Editora. São Paulo, 2008.

SFPE - Society of Fire Protection Engineering. **The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. Third Edition, 2002.

SILVA, C. L. B. S. C. A. O desafio dos edifícios altos. Programa ex-alunos. Universidade FUMEC/FEA. **Acontece**: Artigos. Setembro, 2005.

SIR NORMAN Foster and Partners. **Commerzbank, Frankfurt am Main**. London: Editora Axel Menges, 1997.

SOBREIRA, Fabiano José Arcadio. **Concursos de arquitetura e sustentabilidade: entre a retórica e a prática. O enfoque ambiental nos concursos realizado no Brasil e no Canadá entre 2000 e 2007**. IV PROJETER 2009. Projeto como investigação: ensino, pesquisa e prática. FAU-UPM. São Paulo, out. 2009.

SOBREIRA, F.; ARAÚJO, R.; MARTINS, G. Concursos de projeto sob a ótica da sustentabilidade. **NUTAU 2008 – Seminário Internacional**. Espaço Sustentável – Inovações em edifícios e cidades. USP São Paulo, 2008.

SOUZA, J. C. **A importância do projeto arquitetônico na prevenção contra incêndios**. São Paulo: NUTAU/USP, 1996.

SOUZA, W. P. de. **Reação ao fogo dos materiais: Uma avaliação dos métodos de projeto de saídas de emergência em edificações não industriais**. Ouro Preto, MG, 2007. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG. 2007.

STEELE, J. **Ecological Architecture: A Critical History**. Thames & Hudson, 2005.

SUSTENTABILIDADE high tech. **Revista Técnica**. Edição 141. Editora PINI, dez. 2008.

TANAKA; TAKEYOSHI. Behavior and Control of Smoke in Fire. **Anais NUTAU**, 2006.

THE ECONOMIST. Special Report. **The Skyscraper Boom**. Better than flying. Revista: edição de junho, 2006.

YEANG, K. **Ecodesign – A manual for ecological design**. Published in Great Britain by John Wiley & Sons, Ltd. 2008.

**Sites:**

**900/910 Lake Shore Drive**. Disponível em: <<http://www.900910.com/origins.php>>. Acesso em: 15 mai. 2010.

**ABNT.ORG**. Disponível em: <<http://www.abnt.org>>. Acesso em: 12 abr. 2010.

Architecture in Chicago. Disponível em: <<http://mintaka.sdsu.edu/faculty/erics/web/arcchicago.html>>. Acesso em: 15 mai. 2010.

Arquitetura da Escola de Chicago. **Arquitetando**. Disponível em: <<http://bhpbrasil.spaces.live.com/Blog/cns!CBF475499EC82673!14630.entry>>. Acesso em: 06 mai. 2010.

**ASTM International**. Disponível em: <<http://www.astm.org>>. Acesso em: 06 mai. 2010.

Bank of China Tower. Disponível em: <<http://www.actualidadcad.com/wp-content/uploads/2009/10/Bank-of-China-Tower.jpg>>. Acesso em: 15 mai. 2010.

BEZERRA, L. M. **Edifícios altos**. Disponível em: <<http://www.metalweb.unb.br/TallBuilds01.PDF>>. Acesso em: 13 abr. 2010.

**Bombeiros Emergência**. Disponível em: <<http://bombeirosemergencia.com.br/cronologiabombeiro.htm>>. Acesso em: 12 abr. 2010.

Boyertown Opera House Building. **Wikipedia. The Free Encyclopedia**. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Boyertown\\_Opera\\_House\\_Building.JPG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Boyertown_Opera_House_Building.JPG)>. Acesso em: 12 abr. 2010.

BRASIL. **Diário Oficial da União**. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/diarios/2666644/dou-secao-2-14-06-1955-pg-2>>. Acesso em: 10 abr. 2010.

Canary Wharf. **Wikipédia. A enciclopédia livre.** Disponível em:  
<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Canary\\_Wharf](http://pt.wikipedia.org/wiki/Canary_Wharf)>. Acesso em: 08 abr. 2010.

Carson Pirie Scott building. **Wikimedia Commons.** Disponível em:  
<[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carson\\_Pirie\\_Scott\\_building,\\_Chicago,\\_Illinois\\_-\\_Louis\\_Sullivan.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carson_Pirie_Scott_building,_Chicago,_Illinois_-_Louis_Sullivan.jpg)>. Acesso em: 08 abr. 2010.

Collinwood School Fire. **Dead Ohio.** Disponível em:  
<<http://www.deadohio.com/collinwood.htm>>. Acesso em: 12 abr. 2010.

Comercial Ventura. Disponível em: <<http://www.tishmanspeyer.com.br/comercial-ventura-conceito.php&usg>>. Acesso em: 14 jun. 2010.

Commerzbank Tower. **A view on cities.** Disponível em:  
<<http://www.aviewoncities.com/frankfurt/commerzbantower.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

**Commerzbank.** Disponível em: <<http://www.commerzbank.com>>. Acesso em: 05 jun. 2010.

Corpo de Bombeiros – PMESP. **SÃO PAULO.** Disponível em:  
<<http://www.ccb.polmil.sp.gov.br>>. Acesso em: 14 jun. 2010.

Daniel Burnham. **Wikipédia. A enciclopédia livre.** Disponível em:  
<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Daniel\\_Burnham](http://pt.wikipedia.org/wiki/Daniel_Burnham)>. Acesso em: 08 abr. 2010.

Daniel Libeskind assina projeto residencial sustentável de 193 mil m2 em Cingapura. **Piniweb.** Disponível em:  
<<http://www.piniweb.com.br/construcao/arquitetura/daniel-libeskind-assina-projeto-residencial-sustentavel-de-193-mil-m-168634-1.asp>>. Acesso em: 14 jun. 2010.

Edifício Andraus. **Wikipédia. A enciclopédia livre.** Disponível em:  
<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Edif%C3%ADcio\\_Andraus](http://pt.wikipedia.org/wiki/Edif%C3%ADcio_Andraus)>. Acesso em: 12 abr. 2010.

Edifício Joelma. **Bombeiros Emergência.** Disponível em:  
<<http://bombeiroemergencia.com.br/joelma.htm>>. Acesso em: 12 abr. 2010.

**ELETOBRAS.** Disponível em: <<http://www.eletobras.com/elb/procel/main.asp>>. Acesso em: 14 jun. 2010.

**ELETOBRAS.** Disponível em: <<http://www.eletobras.com/pci/main.asp>>. Acesso em: 14 jun. 2010.

**Facebook.** Disponível em: <<http://www.facebook.com/album.php?aid=85021&id=73570194656>>. Acesso em: 14 jun. 2010.

Fire Dynamics Simulator and Smokeview. **Hosted at the National Institute of Standards and Technology.** Disponível em: <<http://fire.nist.gov/fds/documentation.html>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

Frankfurt. **Sua Pesquisa.com.** Disponível em: <<http://www.suapesquisa.com/cidadesdomundo/frankfurt.htm>>. Acesso em: 05 jun. 2010.

FUMEC. Disponível em: <<http://www.fea.fumec.br/ex-alunos/acontece/artigos/09-05.a1.shtml>>. Acesso em: 08 abr. 2010.

**Green Building Council Brasil.** Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/pt/>>. Acesso em: 14 jun. 2010.

**Green Building Council Brasil.** Disponível em: <[http://www.gbcbrasil.org.br/pt/index.php?pag=certificacao.php?certificado=cert\\_LEEDRegistrados.php](http://www.gbcbrasil.org.br/pt/index.php?pag=certificacao.php?certificado=cert_LEEDRegistrados.php)>. Acesso em: 14 jun. 2010.

Hong Kong. **Wikipédia. A enciclopédia livre.** Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Hong\\_Kong](http://pt.wikipedia.org/wiki/Hong_Kong)>. Acesso em: 05 mai. 2010.

Hongkong and Shanghai Bank. **Greatbuildings.com.** Disponível em: <[http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbi.cgi/Hongkong\\_and\\_Shanghai\\_Ban.html/cid\\_hksb\\_001.html](http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbi.cgi/Hongkong_and_Shanghai_Ban.html/cid_hksb_001.html)>. Acesso em: 15 mai. 2010.

Inclinação para o verde. In.: **Skyscrapercity.** Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=733472>>. Acesso em 14 jun. 2010.

Iroquois Theater Fire. **Wikimedia Commons.** Disponível em: <[http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Iroquois\\_Theater\\_Fire](http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Iroquois_Theater_Fire)>. Acesso em 12 abr. 2010.

Joelma e Andraus. **Sampacentro**. Disponível em:  
<<http://sampacentro.terra.com.br/textos.asp?id=207&ph=11>>. Acesso em: 12 abr. 2010.

Joelma e Andraus. **Sampacentro**. Disponível em:  
<<http://sampacentro.terra.com.br/textos.asp?id=204&ph=11>>. Acesso em: 12 abr. 2010.

KENNEY, S. 20 Famous skyscrapers reproduced in Lego. In.: **Beetham Tower**. Disponível em: <<http://www.beethamtower.org/blog/20-famous-skyscrapers-reproduced-in-lego.html>>. Acesso em: 15 mai. 2010.

Louis Sullivan. **Wiki Lingue Beta**. Disponível em:  
<[http://pt.wikilingue.com/gl/Louis\\_Sullivan](http://pt.wikilingue.com/gl/Louis_Sullivan)>. Acesso em: 08 abr. 2010.

Menara Mesiniaga. Disponível em:  
<[http://images.businessweek.com/ss/06/07/wow\\_green/image/2menara-mesiniaga.jpg](http://images.businessweek.com/ss/06/07/wow_green/image/2menara-mesiniaga.jpg)>. Acesso em: 14 jun. 2010.

**National Fire Protection Association**. Disponível em: <<http://www.nfpa.org>>. Acesso em: 12 abr. 2010.

O inventor do ar condicionado. **EJR Ar Condicionado**. Disponível em:  
<<http://www.ejr.com.br/paginas/inven.htm>>. Acesso em: 16 mai. 2010.

**Pense Verde**. Disponível em: <<http://www.redesul.am.br/penseverde/?m=200908>>. Acesso em: 10 abr. 2010.

Portfólio. **Manutencione. Engenharia e conservação**. Disponível em:  
<<http://www.manutencione.com.br/portfolio.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2010.

POSHEN, P. et. al. **Debate sobre desenvolvimento com responsabilidade socioambiental**. Promoção: Conselho Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Palácio do Planalto. Brasília, agosto 2009. Disponível em: <<http://www.redesul.am.br/penseverde/?m=200908>>. Acesso em: 16 abr. 2010.

**Revista AU**. Disponível em: <<http://revista.construcaomercado.com.br/negocios-incorporacao-construcao/71/green-building-o-que-e-green-building-e-como-121191-1.asp>>. Acesso em: 10 abr. 2010.

**Revista AU.** Disponível em: <<http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/143/arquiteturas-e-estruturas-e-histórias-22106-1.asp>>. Acesso em: 08 abr. 2010.

Salas de Reunião. **Regus.** Disponível em: <<http://meetingrooms.regus.com.br/locations/BR/SaoPaulo/SaoPauloETowerFunchal.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2010.

SERAPIÃO, F. Volumetria discreta agrega tecnologia de fachada e vidros. PROJETO DESIGN, ed. 338, abr. 2008. In.: **Skyscrapercity.** Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=636313>>. Acesso em: 14 jun. 2010.

**Simulação computacional de incêndio.** Disponível em: <<http://george.braga.googlepages.com/simula%C3%A7%C3%A3ocomputacionaldeinc%C3%AAndio>>. Acesso em: 04 jun. 2007.

**Skidmore, Owings & Merrill LLP.** Disponível em: <<http://www.som.com>>. Acesso em: 15 mai. 2010.

The Triangle Factory Fire. **Cornell University. ILR School.** Disponível em: <[http://www.ilr.cornell.edu/trianglefire/photos/photo\\_display.html?sec\\_id=3](http://www.ilr.cornell.edu/trianglefire/photos/photo_display.html?sec_id=3)>. Acesso em: 12 abr. 2010.

Torre de Babel. **Wikipédia. A enciclopédia livre.** Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Torre\\_de\\_Babel](http://pt.wikipedia.org/wiki/Torre_de_Babel)>. Acesso em: 08 abr. 2010.

Torre de Corserolla. Disponível em: <[http://2.bp.blogspot.com/\\_oGF0XpJSfS8/R79fPgC2b0I/AAAAAAAAABQQ/jPczxSXdwVM/s320/Torre+de+Corserolla\\_Sello.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_oGF0XpJSfS8/R79fPgC2b0I/AAAAAAAAABQQ/jPczxSXdwVM/s320/Torre+de+Corserolla_Sello.jpg)>. Acesso em: 15 mai. 2010.

Torre Eiffel. Disponível em: <[http://parisdigital.files.wordpress.com/2009/03/torre\\_eiffel.jpg](http://parisdigital.files.wordpress.com/2009/03/torre_eiffel.jpg)>. Acesso em: 05 mai. 2010.

Vista de Chicago. Disponível em: <<http://www.stritch.luc.edu/depts/ministry/isi/auction/images/chicagoloop.jpg>>. Acesso em: 06 mai. 2010.

**Wordpress.com.** Disponível em:

<<http://saopauloegratis.files.wordpress.com/2009/05/11.jpg>>. Acesso em: 12 abr. 2010.

**Wordpress.com.** Disponível em:

<<http://segurancaemrisco.files.wordpress.com/2009/02/andraus-incendio.jpg>>. Acesso em: 12 abr. 2010.

**ANEXO**

## ANEXO I

Mídia contendo arquivos FDS (*inputs*) e vídeos das simulações realizadas.