

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE CONTROLE DE FUMAÇA POR MODELAGEM NUMÉRICA

Thiago Brazeiro Carlos

Bolsista da CAPES. Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Pampa, Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria e Doutorando em Engenharia de Segurança ao Incêndio na Universidade de Coimbra/Portugal. Email: thiago_brazeiro@hotmail.com

Leandro Magalhães Mariani

Major do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Analista de projetos da Diretoria de Estudos e Análise de Projetos do Departamento de Segurança Contra Incêndio do CBMDF. Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Goiás e Mestrando em Segurança aos Incêndios Urbanos pela Universidade de Coimbra/Portugal. Email: leandro.mariani@cbm.df.gov.br

Halene Helensieva Queiroz Moraes

Bolsista da CAPES. Engenheira Química pela Universidade Federal do Pará, Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará e Doutoranda em Engenharia de Segurança ao Incêndio na Universidade de Coimbra/Portugal.

RESUMO

O fogo é uma reação química que deve ser controlada, porém, quando se perde o controle há a ocorrência de danos e perdas irreparáveis, ou seja, os incêndios. Esses podem provocar enormes prejuízos às edificações, tornando as estruturas mais susceptíveis ao colapso parcial ou global e, conseqüentemente, colocando em risco a vida dos usuários, quer por queimaduras e ferimentos, quer, sobretudo, por intoxicação. Diante disso, este trabalho tem como objetivo o estudo de uma edificação de quatro pavimentos quanto ao dimensionamento do sistema de controle de fumaça, de acordo com as condições prescritas na regulamentação e a estimativa do tempo de evacuação de pessoas. Foram realizadas simulações de cenários de incêndio a partir de uma modelagem numérica, com a aplicação do software Fire Dynamics Simulator (FDS). Os cenários foram idealizados considerando variações no sistema de controle de fumaça, em termos de soluções de admissão e extração. O método de cálculo utilizado para estimar o tempo de evacuação de pessoas foi o desenvolvido por Nelson e MacLennan (1995). Os resultados obtidos para os diferentes cenários foram comparados e analisados de acordo com a estimativa do tempo de evacuação. A partir da análise dos resultados, foram realizadas as conclusões quanto ao desempenho dos sistemas de controle de fumaça para os cenários estudados em verificação com a normatização vigente.

Palavras-chave: Incêndio. Fogo. Controle de Fumaça. Modelagem Numérica. Evacuação

ABSTRACT

Fire is a chemical reaction that must be controlled, however, when it loses control there is the occurrence of irreparable damage and loss, and it results in a uncontrolled fire. This fire can cause enormous damage to buildings, by making structures more susceptible to have partial or total collapse and consequently put in danger the lives of the building's users by causing skin burns and wounds, and poisoning by smoke. Because of this damage, this paper aims to study a four floors building, the smoke's controls system size in according to the conditions prescribed in the regulations and the estimated time of people evacuation. Simulations of fire scenarios were taken from a numerical model with the implementation of the Fire Dynamics Simulator software (FDS). The sets were designed considering variations in smoke control system, in terms of admission and extraction solutions. The method of calculation used to estimate the time of evacuation of people was developed by Nelson and MacLennan. The results obtained for the different scenarios were compared and evaluated according to the estimated evacuation time. From the analysis of the results, the conclusions were made about the performance of smoke control systems for the scenarios studied in check with current regulation

Keywords: Fire. Smoke Control. Numerical Modeling. Evacuation..

O presente estudo foi realizado como trabalho acadêmico para o Mestrado em Segurança aos Incêndios Urbanos e o Doutorado em Segurança ao Incêndio da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, em 2015.

1 INTRODUÇÃO

O fogo é uma força imensa que deve ser controlada, porém quando se perde o controle há a ocorrência de danos e perdas irreparáveis, ou seja, os incêndios. Esses provocam anualmente aos governos, empresas e sociedade em geral enormes prejuízos materiais e muitas vítimas, quer por queimaduras e ferimentos, quer, sobretudo, por intoxicação.

A intoxicação por fumaça pode provocar a morte ou contribuir para a incapacidade dos ocupantes, além de impossibilitar ou dificultar a evacuação. A forma arquitetônica dos edifícios influencia no modo de escoamento da fumaça, logo pode gerar condições incompatíveis com a sobrevivência dos ocupantes mesmo em espaços considerados afastados do local sinistrado. Então, é de suma importância para preservação da vida e da redução das consequências do incêndio a realização do controle de fumaça em edificações. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo o estudo de uma edificação de quatro pavimentos quanto ao desempenho do sistema de controle de fumaça em um ambiente de grandes dimensões (Open Space de grandes dimensões), dimensionado de acordo com as condições prescritas na regulamentação e calcular a estimativa do tempo de evacuação de pessoas.

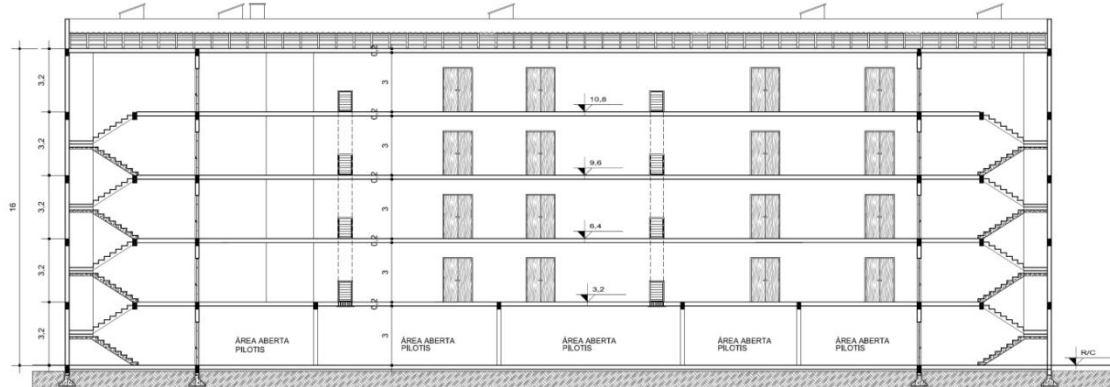
2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE DE FUMAÇA

A seguir é descrito e dimensionado o sistema de controle de fumaça para uma edificação multiandares, analisando o ambiente de grandes dimensões (Sala 10), conforme a Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE) de Portugal, onde se verificam: Normas Portuguesas EN 1037-1 (2002) e EN 1991-1-4 (2010), Decreto-Lei de Portugal nº 220 (2008), Portaria nº 1532 (2008) e demais regulamentações europeias vigentes, como a norma francesa IT-246 (2004).

2.1 Características do edifício em estudo

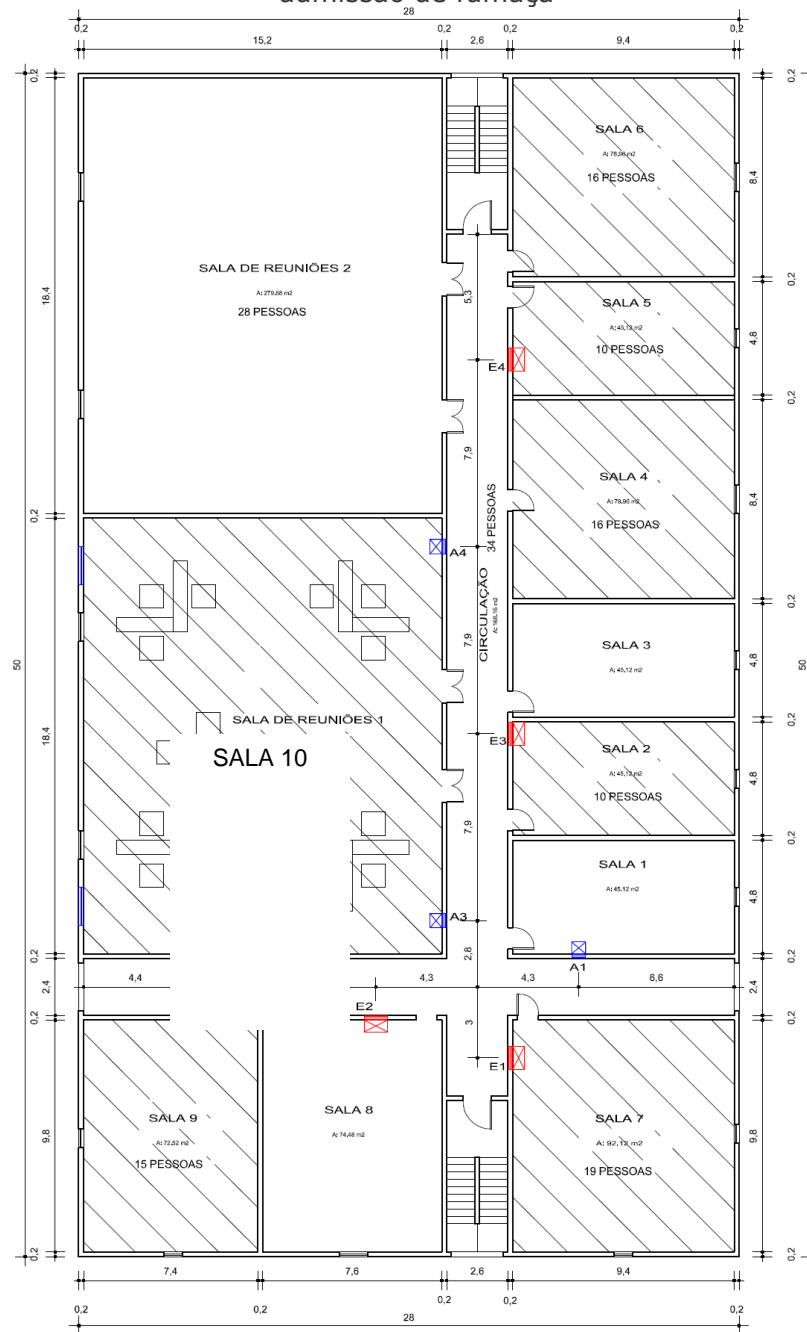
A edificação estudada possui 5 Pavimentos (Térreo mais 4 Pavimentos Tipo), pé-direito de 3,00 m, altura total de 16,00 m. O corte longitudinal e a planta baixa da edificação analisada e são apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Figura 1- Corte longitudinal da edificação



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 2- Planta baixa do pavimento tipo com indicação das grelhas e condutas de extração e admissão de fumaça



Fonte: Dados da pesquisa.

2.2 Classificação segundo a regulamentação portuguesa

Utilização – Tipo: Tipo III – administrativos

Categoria de Risco: 2ª categoria ≤ 28 m de altura e efetivo ≤ 1000

Local de Risco: Todos os compartimentos possuem risco A.

2.3 Dimensionamento do sistema de desenfumagem

A seguir está descrito o dimensionamento do sistema de controle de fumaça para a edificação, conforme as exigências da SCIE e conforme a norma francesa IT-246 (FRANÇA, 2004).

As vias verticais de evacuação onde há a exigência de controle de fumaça para a edificação são as escadas de emergência existentes. Existe um total de duas escadas de emergência com características iguais entre si. Nas escadas não foram dimensionadas grelhas para extração de fumaça nas escadas, uma vez que haverá abertura no teto do último pavimento da escada dotada de exutor de fumaça. Consequentemente, nesse ambiente não foi necessário dimensionamento de condutas para o sistema de controle de fumaça. A grelha para admissão de ar da fachada nas escadas foi dimensionada com área útil de 1,0 m², considerando uma área útil de 50% da área geométrica, as dimensões da grelha de admissão são de 1,0 m x 2,0 m a ser instalada na altura do piso do hall da escada no térreo. Foi dimensionado exutor de fumaça com área livre de 1,0 m² na cobertura da caixa de escada.

Não foram necessárias barreiras de cantonamento, visto que o comprimento da circulação é menor que 60 m e a área do pavimento é menor que 1600 m².

2.3.1 Sistema de extração de fumaça nas vias horizontais:

Para verificar se o dimensionamento nas vias horizontais (circulação) atende os requisitos para extração de fumaça foi utilizada a IT-246 (FRANÇA, 2004). A área útil mínima para extração de fumaça é igual a área do ambiente corrigido por um fator (α) especificado na Tabela 10 da norma. O fator é relacionado à altura de fumaça no pavimento, o qual é calculado como sendo 25% da altura total do ambiente. Tendo em vista que as vias horizontais possuem 5 UP, a grelha deve possuir um mínimo de 0,5 m² de área útil. Desta forma, foram adotadas grelhas de 1,0mx1,0m, com área útil de 0,5 m², conforme a Tabela 1.

Tabela 1- Sistema de extração de fumaça nas vias horizontais

Ambiente	Área (m ²)	h_r (m)	h_{if} (m)	h_f (m)	Classe	α (%)	A_{Util} (m ²)	Solução (m)	A_{UI} instalada (m ²)
Circulação	168,16	3,00	2,25	0,75	1	0,23	0,39	4 Grelhas 1,0 x 1,0	2

Fonte: Dados da pesquisa.

2.3.2 Sistema de admissão de ar nas vias horizontais

Para o estudo, foi adotado 60% da área útil da desenfumagem e utilizadas grelhas de 1,0mx0,6m para admissão de ar, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2- Sistema de admissão de ar nas vias horizontais

Ambiente	AUI instalada Saída de fumaça (m²)	60% AUI instalada Saída de fumaça (m²)	Solução (m)	AUI instalada (m²)
Circulação	2	1,20	4 Grelhas 1,00 x 0,60	1,2

Fonte: Dados da pesquisa.

2.3.3 Sistema de extração de fumaça no compartimento de grandes dimensões

No compartimento analisado (Sala 10) serão instalados vãos de fachada junto ao teto para saída de fumaça, com a parte inferior a 1,80 m do piso acabado. O dimensionamento dos extratores de fumaça na Sala 10 é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3- Sistema de extração de fumaça no ambiente de grandes dimensões

Ambiente	Área (m²)	h_r (m)	h_{if} (m)	h_f (m)	Classe	α (%)	Aútil (m²)	Solução (m)	Aútil instalada (m²)
Open space grande (Sala 10)	279,68	3,00	2,25	0,75	1	0,23	0,64	2 Vãos 1,40 x 1,00	1,40

Fonte: Dados da pesquisa.

2.3.4 Sistema para admissão de ar no compartimento de grandes dimensões

Serão instaladas grelhas com a parte superior até 1 m do piso do pavimento, para entrada de ar, conforme a Tabela 4.

Tabela 4- Sistema de admissão de ar no ambiente de grandes dimensões

Ambiente	AUI instalada Saída de fumaça (m²)	60% AUI instalada Saída de fumaça (m²)	Solução (m)	AUI instalada (m²)
Open space grande (Sala 10)	1,40	0,84	2 Grelhas 1,6 x 0,60	0,96

Fonte: Dados da pesquisa.

2.3.5 Sistema de condutas para extração de fumaça e admissão de ar

A seção mínima das condutas é igual ao somatório das áreas livres das bocas que servem em cada piso. Para a relação entre dimensões transversais das condutas não superiores a dois, a exigência é que também se aplique às bocas que servem. O comprimento da conduta é limitado a 10 diâmetros

hidráulicos: 10 x 4 x seção da conduta/perímetro da conduta. O dimensionamento das condutas é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5- Sistema de condutas para extração de fumaça e admissão de ar

Conduta	Área livre das grelhas (m ²)	Área da seção calculada (m ²)	Seção adotada (m)	Comprimento (m)
Extração de fumaça	0,5	0,5	1,00 x 0,50	11,00
Admissão de ar	0,3	0,3	0,60 x 0,50	10,60

Fonte: Dados da pesquisa.

2.3.6 Sistema de exutores de fumaça para as condutas das vias horizontais

Considerando o prescrito na IT-246 (FRANÇA, 2004), deve ser dimensionado um mínimo de 4 exutores/1000 m² de desenfumagem. Para o caso, foi dimensionado então mínimo de 1 exutor por pavimento, ficando então 1 exutor por conduta de extração de fumaça. Sabendo que a área útil total dos exutores é igual a área útil total de extração de fumaça por pavimento foi dimensionado os exutores, Tabela 6.

Tabela 6- Sistema de exutores das condutas

Ambiente	AUI instalada Saída de fumaça (m ²)	Quantidade de exutores	Aútil para cada exutor (m ²)	Exutor instalado (m)	AUI instalada (m ²)
Circulação	2	4	0,50	1,0 x 1,0	0,74

Fonte: Dados da pesquisa.

3 ESTIMATIVA DO TEMPO DE EVACUAÇÃO E EFETIVO

O método de cálculo do tempo de evacuação de pessoas utilizado no presente trabalho foi o desenvolvido por Nelson e Maclennan (1995), complementado pelo Estudo de Pauls para a estimativa nas vias de evacuação verticais.

O cálculo do efetivo foi realizado considerando os índices previstos no SCIE. Para evacuação dos ambientes (exibidos na Figura 1) o efetivo deverá acessar a via de circulação e, posteriormente, alcançar uma das duas caixas de escadas existentes na edificação. Sendo assim, inicialmente foram calculadas as estimativas do tempo de evacuação do efetivo do ambiente para a circulação, descritos na Tabela 7.

Tabela 7- Estimativa do tempo de evacuação dos ambientes da edificação analisada

Ambiente	Segue para	Efetivo (pessoa)	Área útil (m ²)	t (s)
Sala 10	Circulação	28,00	279,68	105,94
Circulação	Escada 1	57,00	84,08	81,41
Circulação	Escada 2	57,00	84,08	81,41
Escada 1	Exterior	228	-	304,35
Escada 2	Exterior	228	-	304,35

Fonte: Dados da pesquisa.

O tempo estimado total para a edificação foi calculado realizando uma somatória entre o tempo máximo de saída do ambiente (leva-se em consideração o tempo de saída do ambiente em que as pessoas demoraram mais para evacuar), o tempo de circulação e o tempo da descida nas escadas. Esses tempos foram de 127,94; 81,41; e 305 segundos, respectivamente. O que resulta ao todo em 513,7 segundos. Considerando o tempo de reação das pessoas ao incêndio é de 60 segundos, tem-se que o tempo total estimado para a modelagem é da ordem de 574 segundos. Assim, para cada instante (t) um determinado ambiente foi considerado totalmente evacuado, conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8- Tempo de evacuação

t (s)	Ambiente
0	Início do incêndio
60	Percepção do incêndio
122,67	Sala 2 e 5
164,89	Sala 9
165,94	Sala 10
169,67	Salas 4 e 6
187,94	Sala 7
269,35	Circulação
574	Escadas 1 e 2

Fonte: Dados da pesquisa.

4 ANÁLISE NUMÉRICA DO ESCOAMENTO DE FUMAÇA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

O aplicativo utilizado para realização do estudo foi o *Fire Dynamics Simulator* (FDS). Esse software realiza a simulação do fluxo de calor e da fumaça em um incêndio, provendo dados de saída na forma de valores em texto e por visualização gráfica. O estudo foi realizado considerando o último pavimento da edificação, ou seja, o 4º pavimento, em que o compartimento estudado foi o de grandes dimensões (Sala 10).

Para o estudo foi definida uma malha com células discretizadas em $x = 0,2$ m, $y = 0,2$ m e $z = 0,2$ m, de forma a simplificar o estudo e o tempo de cálculo do aplicativo. No total, o domínio de simulação definido consiste numa malha de 608.328 células. Admitiu-se uma malha adicional para o cenário que simula as condutas verticais de admissão de ar e extração de fumaça nas vias horizontais. No total, o domínio da simulação definido consiste numa malha de 22.400 células.

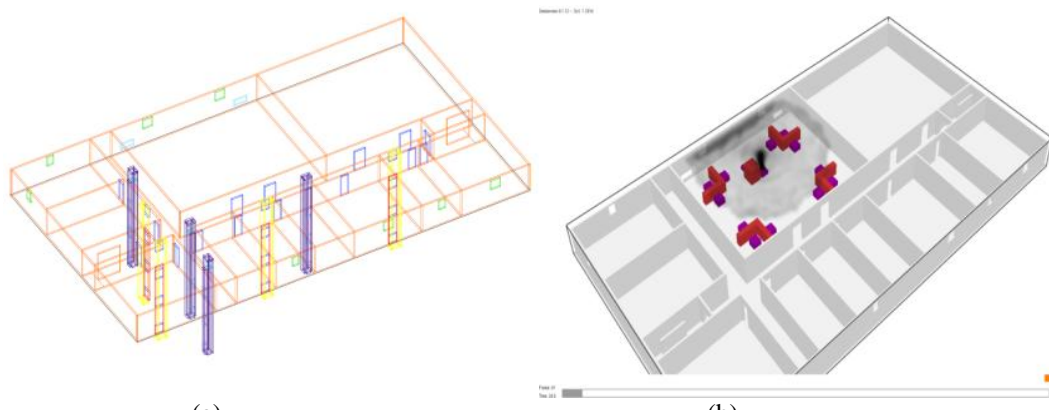
3.1 Simulação numérica

No local foram simulados móveis: 14 cadeiras de tecido e espuma, 4 balcões e 1 mesa de madeira. A Figura 3 ilustra o ambiente analisado.

Como dados de saída da simulação foram definidos três parâmetros a serem verificados em três pontos diferentes do pavimento: o FED (*Fractional Effective Dose*), a visibilidade e a temperatura do ambiente. Os pontos escolhidos para verificação dos parâmetros foram todos a uma cota $z = 1,50$ m, considerando a altura média da região do nariz e olhos de um humano entre

1,60 m e 1,70 m de altura. As demais coordenadas x e y foram definidas considerando: um ponto dentro do ambiente incendiado, um na via de circulação após a saída do ambiente incendiado e outro na entrada da caixa da escada.

Figura 3: Modelo tridimensional para obtenção de coordenadas para utilização no FDS (a) e Ambiente analisado (Sala 10) (b)



Fonte: Dados da pesquisa.

O FED calculado pelo FDS se refere a uma composição de gases provenientes dos produtos do incêndio, sendo que, sua concentração determina as condições de incapacitação de uma pessoa. O resultado do cálculo compreende um fator de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, maiores são as condições para a incapacidade humana. O cálculo de visibilidade pelo FDS pondera a capacidade de alcance da visão de uma pessoa, considerando a quantidade de partículas em suspensão no ambiente. No caso, foi definida a partícula do tipo fuligem, um dos produtos da combustão dos materiais incendiados no ambiente. O fator temperatura no ambiente foi definido como verificação, uma vez que é fator relevante na capacidade de vida humana em situação de incêndio. A Tabela 9 apresenta os valores iniciais definidos pelo aplicativo FDS para os parâmetros avaliados.

Tabela 9 - Valores iniciais definidos pelo FDS

Parâmetros	Valores iniciais
Visibilidade (m)	30,0
FED (adimensional)	0
Temperatura (°C)	20

Fonte: Dados da pesquisa.

Como referência para análise dos parâmetros, deverão ser considerados os seguintes itens:

a) Para o FED, o valor unitário é o limite para o ambiente tolerável pelo ser humano sendo então considerados como favoráveis a evacuação os valores entre 0 e 1 (SANTOS; RODRIGUES; SARAIVA, 2013).

b) Para a visibilidade foi tomado como referência a capacidade de visualizar as vias de evacuação, assim como a sinalização de emergência. Desta forma, considerou-se que para a viabilidade de evacuação delimita-se

uma capacidade de visibilidade de 30 m, conforme o prescreve o SCIE quanto a distância máxima de instalação da sinalização de emergência.

A temperatura crítica tolerável pelo ser humano foi considerada conforme a Tabela 10.

Tabela 10- Efeitos fisiológicos no ser humano exposto a altas temperaturas

Efeitos fisiológicos	Temperatura (°C)
Possível parada cardíaca	60
Tolerância da temperatura por 49 minutos	82
Queimadura rápida da pele no ar úmido	100
Tolerância de temperatura por 20 minutos	115
Dificuldade de respirar pelo nariz	126
Dificuldade de respirar pela boca	148
Temperatura limite para escape	148
Dor acentuada na pele seca	160
Tolerância da temperatura em menos de 4 minutos	198
Limite do sistema respiratório	198

Fonte: Berl e Halpin (1979).

Para a análise proposta no FDS, foram elaboradas quatro variações no sistema de controle de fumaça da Sala 10.

a) **Variação 1:** Como hipótese para a variação 1 foi modelada a admissão de ar e extração de fumaça no compartimento incendiado. A hipótese se justifica para verificar a eficiência do dimensionamento de controle de fumaça passivo no ambiente incendiado.

b) **Variação 2:** Foi modelada a admissão de ar e extração de fumaça nas vias horizontais de evacuação para conferir a análise da eficiência do sistema de controle de fumaça dimensionado de acordo com o SCIE.

c) **Variação 3:** Modelou-se o ambiente e vias de evacuação com as aberturas de admissão de ar e extração de fumaça fechadas, a fim de constatar a análise do comportamento do fogo e dos gases no ambiente confinado, e as condições relevantes para evacuação das pessoas, de forma a simular uma possível falha ou obstrução no sistema de controle de fumaça.

d) **Variação 4:** Modelada a admissão de ar e extração de fumaça no compartimento incendiado com a simulação de extração de ar forçada.

Para verificar a influência de um sistema ativo na situação modelada definiu-se um parâmetro de dados de saída do tipo *slice*, sendo este para a temperatura no ambiente incendiado, de forma a verificar graficamente a camada fria e a camada quente.

A análise dos dados foi realizada sobre a estimativa dos tempos de evacuação da Sala 10 (166 s), da área de circulação (269,35 s) e da escada (574 s), conforme a Tabela 8.

Na Tabela 11 e na Figura 4, observa-se que para o tempo de 166 s (tempo estimado da evacuação total das pessoas no interior da Sala 10 para o ambiente Circulação), nas variações 4 e 1, tem-se a existência de uma camada

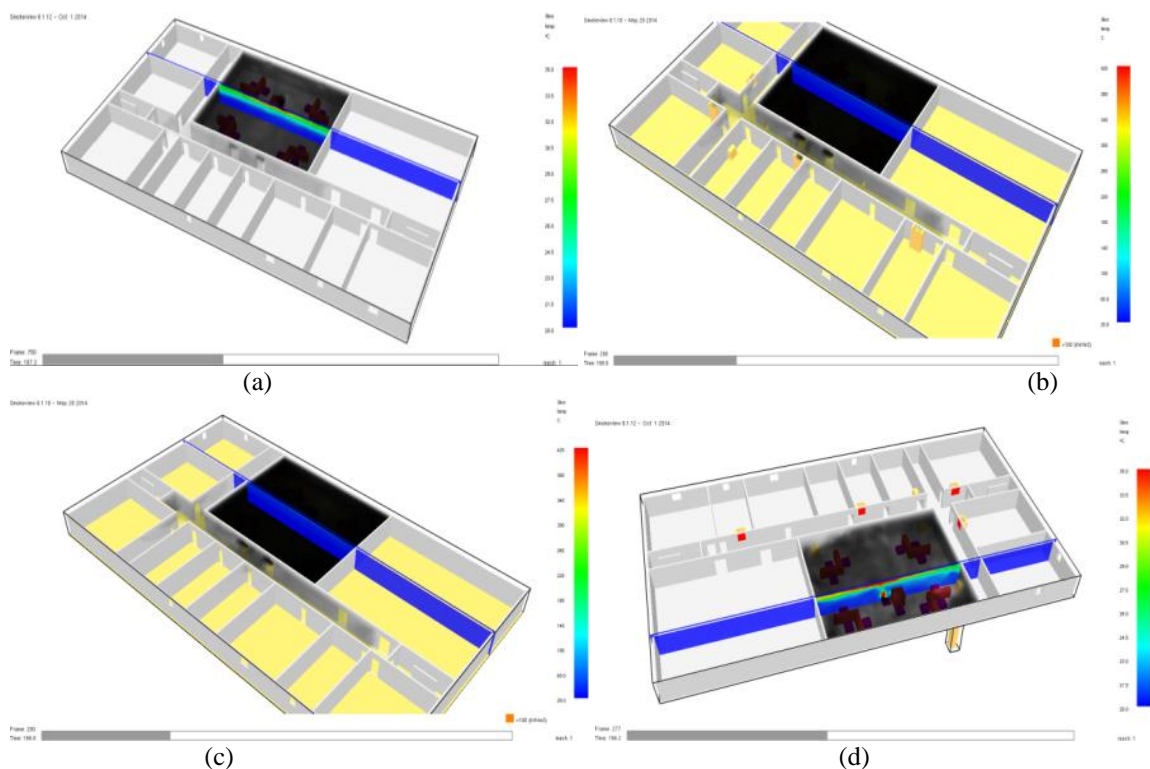
livre de fumaça, a temperatura praticamente não sofre alteração (fica em torno dos 20,17°C), e o FED encontra-se bem abaixo de 1,0. Já nas variações 2 e 3 a visibilidade diminui, a temperatura sofre um aumento em torno de 4°C e o FED sofre um pequeno aumento, mas continua bem abaixo do limite tolerável.

Tabela 11- Parâmetros das variações no tempo da evacuação da sala 10 (t = 166 s)

Parâmetros	Sala 10	Circulação	Saída da escada
Variação 1			
Visibilidade (m)	24,03	30,00	30,00
FED (adm)	1,56E-04	2,66E-06	0,00
Temperatura (°C)	20,98	20,02	20,00
Variação 2			
Visibilidade (m)	6,46	30,00	15,36
FED (adm)	4,72E-04	1,86E-05	6,71E-05
Temperatura (°C)	24,22	19,99	21,14
Variação 3			
Visibilidade (m)	8,08	30,00	12,77
FED (adm)	4,76E-04	3,56E-05	7,63E-05
Temperatura (°C)	23,37	19,96	21,42
Variação 4			
Visibilidade (m)	30,00	30,00	30,00
FED (adm)	3,09E-04	5,79E-06	2,62E-10
Temperatura (°C)	20,82	20,02	20,00

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 4- Sala 10 na variação 1 (a), na variação 2 (b), na variação 3 (c) e na variação 4 (d) no t = 166 s



Fonte: Dados da pesquisa.

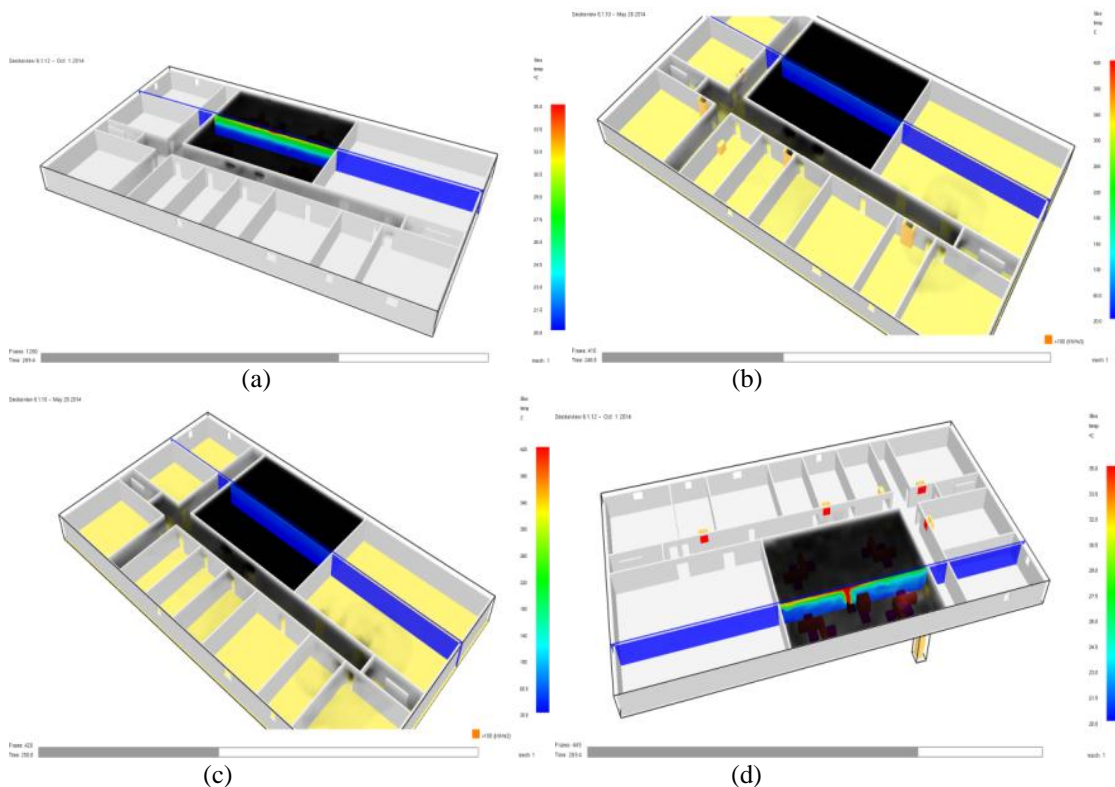
No tempo de 269,35 s, observa-se que há visibilidade em todas as variações, logo há camada livre de fumaça, a temperatura se mantém estável em torno dos 20°C e o FED ainda está dentro do limite favorável a evacuação que é abaixo de 1, conforme a Tabela 12 e Figura 5.

Tabela 12- Parâmetros das variações no tempo de evacuação da área de circulação (269,35 s)

Parâmetros	Sala 10	Circulação	Saída da escada
Variação 1			
Visibilidade (m)	16,99	30,00	24,86
FED (adm)	5,77E-04	1,30E-05	1,80E-04
Temperatura (°C)	21,36	20,01	20,58
Variação 2			
Visibilidade (m)	2,44	30,00	30,00
FED (adm)	2,54E-03	2,90E-05	6,49E-04
Temperatura (°C)	30,47	20,13	19,32
Variação 3			
Visibilidade (m)	3,09	30,00	5,00
FED (adm)	2,39E-03	9,68E-05	1,40E-03
Temperatura (°C)	28,07	20,59	22,76
Variação 4			
Visibilidade (m)	18,32	30,00	30,00
FED (adm)	6,39E-04	2,28E-05	1,38E-08
Temperatura (°C)	21,54	20,06	20,00

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5- Sala 10 na variação 1 (a), na variação 2 (b), na variação 3 (c) e na variação 4 (d) no t = 269,35 s.



Fonte: Dados da pesquisa.

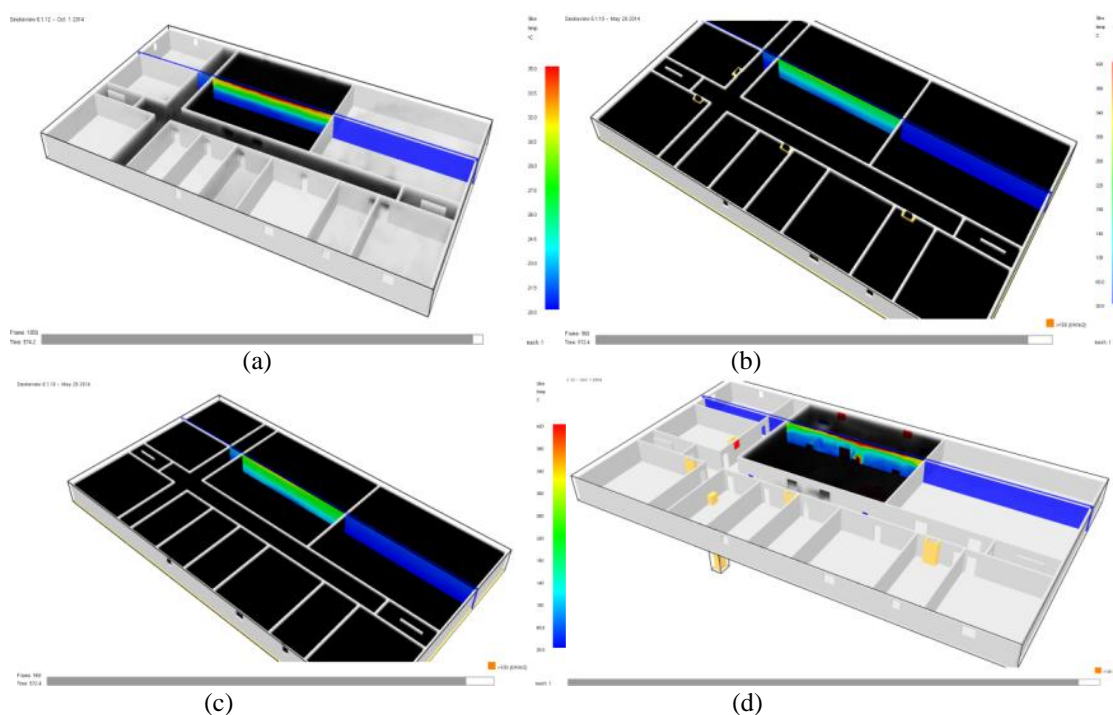
A Tabela 13 apresenta os dados das variações para a estimativa do tempo de evacuação do edifício (saída da escada), 574s. Pode-se observar que para as variações 3 e 2 não há mais camada livre de fumaça, os cenários são tomados pela fumaça, como mostra a Figura 6. Isto impossibilitaria a evacuação das pessoas. Na variação 1 ainda tem uma camada livre de fumaça e na variação 4 tem-se uma visibilidade total, mostrando que o sistema de proteção ativa (ar forçado) tem melhor eficiência que a proteção passiva. Quanto a temperatura, constata-se que nas variações 2 e 3 ocorre aumento considerável da temperatura, sendo que na variação 3 este aumento já causaria alguma sequela ao indivíduo. Nas demais variações a temperatura se manteve estável. O limite do FED não foi ultrapassado em nenhuma das variações.

Tabela 13- Parâmetros das variações no tempo de evacuação da escada (574 s)

Parâmetros	Sala 10	Circulação	Saída da escada
Variação 1			
Visibilidade (m)	7,77	30,00	8,02
FED (adm)	3,42E-03	2,25E-04	1,10E-03
Temperatura (°C)	22,43	20,25	21,02
Variação 2			
Visibilidade (m)	0,09	0,54	0,11
FED (adm)	1,01E+00	7,69E-02	4,06E-01
Temperatura (°C)	149,13	30,70	38,85
Variação 3			
Visibilidade (m)	0,08	0,12	0,07
FED (adm)	9,46E-01	2,11E-01	7,14E-01
Temperatura (°C)	179,53	67,89	81,85
Variação 4			
Visibilidade (m)	12,11	30,00	30,00
FED (adm)	2,55E-03	3,03E-04	5,54E-07
Temperatura (°C)	22,13	20,37	20,00

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 6 - Sala 10 na variação 1 (a), na variação 2 (b), na variação 3 (c) e na variação 4 (d) no $t = 574$ s



Fonte: Dados da pesquisa.

5 CONCLUSÃO

O dimensionamento do controle de fumaça para a edificação escolhida para o estudo, com base na legislação vigente em Portugal, demonstrou ausência de informações mais específicas de valores para projeto. Para suprir esta deficiência, foi necessário utilizar a norma francesa e normas europeias de características gerais.

A partir da utilização do aplicativo FDS, a situação apresentada para estudo merece análises mais criteriosas quanto a eficiência dos sistemas de controle de fumaça simulados. A partir da comparação dos resultados entre as variações do cenário, verificou-se pouca variação nas condições seguras das vias de evacuação em situação de incêndio, principalmente quanto a altura livre de fumaça, entre a utilização dos sistemas de desenfumagem passiva ou ativa do compartimento incendiado. Na análise do cenário considerando o dimensionamento do sistema de controle de fumaça conforme as exigências da legislação local vigente (variação 2), ou seja, sem exigência de controle de fumaça no compartimento incendiado, caracterizou um sistema deficiente em condições de evacuação. Tal sistema acarretou altas temperaturas durante o tempo estimado para evacuação total da edificação, demonstrando risco a segurança das pessoas e permite constatar a importância do sistema de controle de fumaça na melhora das condições de evacuação do ambiente em uma situação de sinistro.

REFERÊNCIAS

BERL, W. G.; HALPIN, B. M. **Human Fatalities from Unwanted Fires**, Baltimore, Md: Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory, EUA, 1979.

FRANÇA. **IT 246**. Instruction Technique relative au désenfumage des ERP. 2004. 11 p.

MCGRATTAN, Kevin et al. **Fire Dynamics Simulator (FDS): User's Guide**. NIST special publication 1018-5. National Institute of Standards and Technology. Washington, USA: Department of Commerce. Gaithersburg, 2013.

NELSON, H.; MACLENNAN, H. Emergency Movement. In: DININNO, P. and others. **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**. 7. ed. National Fire Protection Association: Quincy Mass, 1995.

PORTUGAL. **Norma Portuguesa EN 1037-1**. Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural. Caparica: IPQ, 2002. 89 p.

PORTUGAL. **Norma Portuguesa EN 1991-1-4**. Eurocódigo 1: Ações em Estruturas. Parte 1-4: Ações Gerais. Ações do Vento. Caparica: IPQ. 2010.

PORTUGAL. **Decreto-Lei nº 220**, 12 de novembro de 2008. Estabelece o Regime Jurídico de Segurança contra Incêndio em Edifício. Procuradoria-Geral Desportiva de Lisboa, 2008.

PORTUGAL. **Portaria nº 1532**, 29 de dezembro de 2008. Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifício. Procuradoria-Geral Desportiva de Lisboa, 2008.

SANTOS, D.; RODRIGUES, J. P. C.; SARAIVA, J. Estudo do desenvolvimento de um incêndio num túnel rodoviário e o seu impacto nas condições de evacuação. In: JORNADA DE SEGURANÇA AOS INCÊNDIOS URBANOS, 3, Universidade de Coimbra, **Anais...**, Portugal, 2013. p. 137-150.