



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

MODELO DE ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA AO INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS EXISTENTES (MACSI_2E)

Relatório de progresso

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Lisboa • janeiro de 2019

I&D EDIFÍCIOS

RELATÓRIO 18/2019 – DED/NUT

Título

MODELO DE ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA AO INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS EXISTENTES (MACSI_2E)

Relatório de progresso

Autoria

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS

António Leça Coelho

Investigador Principal com Habilitação, Núcleo de Estudos Urbanos e Territoriais

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

Joaquim Augusto Neto

Especialista de informática G3N2, Chefe da Divisão de Infraestruturas Informáticas

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 18/2019

Proc. 0804/112/20617

MODELO DE ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA AO INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS EXISTENTES (MACSI_2E)

Relatório de progresso

Resumo

Este relatório apresenta o trabalho de investigação realizado entre maio de 2016 e maio de 2017, no âmbito da Estratégia de Investigação e Inovação do LNEC para o período 2013-2020, que enquadra e orienta o Plano de Investigação e Inovação (P2I), com vista ao desenvolvimento de um “Modelo de análise das condições de segurança ao incêndio em edifícios existentes (MACSI_2E)”.

No período em causa foram desenvolvidas diversas partes desse modelo, conforme o descrito no corpo deste relatório, incluindo já alguns aspetos de implementação do algoritmo em computador.

Palavras-chave: Edifícios existentes / Incêndio / Segurança / Projeto

MODEL FOR ANALYSIS OF FIRE SAFETY CONDITIONS IN EXISTING BUILDINGS (MACSI_2E)

Progress report

Abstract

This report presents the research work carried out between May 2016 and May 2017, within the framework of the Research and Innovation Strategy of LNEC for the period 2013-2020, which frames and guides the Research and Innovation Plan (P2I), with a view to the development of a "Model for analysis of fire safety conditions in existing buildings (MACSI_2E)".

In that period, several parts of this model were developed, as described in the body of this report, already including some aspects of computer algorithm implementation.

Keywords: Existing buildings / Fire / Safety / Project

Índice

1	Introdução	1
2	Síntese do trabalho realizado	3
2.1	Estado dos conhecimentos	3
2.2	Consolidação da estrutura do MACSI_2E	3
2.3	Modelação do edifício	4
2.3.1	Modelo teórico	4
2.3.2	Transformação do modelo em algoritmo	5
2.3.3	Implementação do algoritmo em computador	5
2.3.4	Documentação	5
2.3.5	Validação do modelo	5
2.4	Fator relativo ao estado de conservação do edifício e das instalações técnicas	6
2.5	Modelação do perigo de incêndio	6
2.5.1	Modelo teórico	6
2.5.2	Transformação do modelo em algoritmo	8
2.5.3	Implementação do algoritmo em computador	8
2.5.4	Publicações	8
2.5.5	Validação do modelo do modelo	8
2.6	Modelação da ação dos meios passivos	8
2.6.1	Modelo teórico	8
2.6.2	Transformação do modelo em algoritmo	9
2.6.3	Implementação do algoritmo em computador	9
2.6.4	Publicações relacionadas com o modelo	9
2.6.5	Validação do modelo	9
2.7	Modelação da ação dos meios ativos	9
2.7.1	Modelo teórico	9
2.7.2	Transformação do modelo em algoritmo	10
2.7.3	Implementação do algoritmo em computador	10
2.7.4	Publicações relacionadas com o modelo	10
2.7.5	Validação do modelo	10
2.8	Modelo de simulação do movimento	11
2.8.1	Modelo teórico	11
2.8.2	Transformação do modelo em algoritmo	12
2.8.3	Implementação do algoritmo em computador	12
2.8.4	Publicações relacionadas com o modelo	12
2.8.5	Validação do modelo	12
2.9	Modelação da intervenção dos bombeiros	13
2.9.1	Modelo teórico	13
2.9.2	Transformação do modelo em algoritmo	13
2.9.3	Implementação do algoritmo em computador	14
2.9.4	Publicações relacionadas	14
2.9.5	Validação do modelo	14
3	Conclusões	15
	Referências bibliográficas	18

1 | Introdução

No âmbito da Estratégia de Investigação e Inovação do LNEC para o período 2013-2020, que enquadra e orienta o Plano de Investigação e Inovação (P2I), está em desenvolvimento um estudo, inicialmente denominado “Modelo de análise de risco de incêndio em edifícios existentes (MARIEE)”, e que passou a designar-se por “Modelo de análise das condições de segurança ao incêndio em edifícios existentes” (MACSI_2E).

O MACSI_2E pretende ser um instrumento de apoio aos técnicos com o objetivo de definir as soluções de projeto de segurança ao incêndio em operações de reabilitação.

O desenvolvimento do MACSI_2E implica a modelação dos diversos fatores com impacto na segurança ao incêndio, com destaque para os seguintes:

- Modelação física e geométrica do edifício;
- Modelação do perigo de incêndio;
- Modelação dos efeitos dos meios passivos de segurança;
- Modelação dos efeitos dos meios ativos de segurança;
- Modelação da exposição dos ocupantes;
- Modelação da intervenção dos bombeiros;
- Fixação de limiar das condições de segurança.

Para além dos fatores anteriormente referidos, foi ainda considerado o efeito do estado de conservação do edifício e das diversas instalações técnicas nele existentes.

A concretização de cada um destes modelos (modelos parciais) passa pelas seguintes fases fundamentais:

- Desenvolvimento teórico;
- Transformação do modelo em algoritmo;
- Implementação do algoritmo em computador;
- Validação do modelo;
- Publicação de artigos e comunicações relacionadas com o modelo.

O desenvolvimento do MACSI_2E teve início em maio de 2016, prevendo-se que os trabalhos se estendam ao longo de 4 anos.¹

O trabalho desenvolvido no espaço temporal a que corresponde este relatório iniciou-se com a atualização do estado de arte sobre as diferentes matérias necessárias ao desenvolvimento do modelo, incluindo métodos e modelos de análise de risco.

¹ Durante o primeiro ano houve um ligeiro atraso relativamente ao que tinha sido previsto no projeto de investigação proposto no âmbito do P2I, decorrente da incapacidade física, entre setembro de 2016 e o início de 2017, do coordenador do projeto.

A fase seguinte consistiu na estabilização da estrutura do MACSI_2E e dos vários modelos que o constituem, tendo-se introduzido algumas alterações ao que inicialmente tinha sido previsto, com destaque para os seguintes modelos:

- Modelação da probabilidade de ocorrência do incêndio;
- Modelação do perigo de incêndio;
- Modelação da intervenção dos bombeiros.

No que se refere à modelação da probabilidade de ocorrência do incêndio houve necessidade de introduzir simplificações ao que inicialmente tinha sido previsto, pelas razões de indicadas nas secções 2.2 e 2.4, enquanto no caso da modelação do perigo e da intervenção dos bombeiros procurou-se desenvolver modelos mais rigorosos do que aqueles que tinham sido pensados inicialmente.

A substituição do modelo de probabilidade de ocorrência do incêndio pelo designado fator de condições do edifício e das instalações técnicas, decorre do facto de se considerar que é mais rigoroso, para efeito de definição da solução de projeto a implementar, dispor de um modelo de simulação das condições de segurança ao incêndio do edifício do que um modelo de análise do risco².

² No relatório LNEC “Descrição genérica do modelo de análise das condições de segurança ao incêndio em edifícios existentes (MACSI_2E)”, que será posteriormente publicado, é justificado com pormenor as razões que ditaram esta alteração.

2 | Síntese do trabalho realizado

2.1 Estado dos conhecimentos

Procedeu-se a uma atualização do estado dos conhecimentos efetuada em 2006 (COELHO, 2006), no que se refere a diversas matérias com impacto na elaboração do modelo.

A análise realizada evidenciou que, quer os métodos quer os modelos conhecidos não reúnem as potencialidades necessárias para serem um instrumento de apoio ao meio técnico com vista à definição das soluções de projeto, não podendo assim constituírem uma alternativa à atual legislação, conforme se explica no relatório LNEC “Descrição Genérica do Modelo de Análise das Condições Segurança Ao Incêndio em Edifícios Existentes (MACSI_2E) “que está em fase de conclusão.

Relativamente aos métodos de análise de risco de incêndio, embora muitos deles incorporem quase todos os fatores com impacto nesse risco, o valor das diferentes grandezas a eles associados não resulta da modelação de fenómenos, como por exemplo, o desenvolvimento do incêndio, a evacuação dos edifícios, os efeitos dos meios de segurança, quer os ativos quer os passivos, e a eficácia dos meios de combate ao incêndio.

De facto, o valor dos fatores associados a esses métodos caracterizam-se por um elevado grau de empirismo, refletindo, nuns casos, a experiência do autor, por vezes apoiado num painel de especialistas, enquanto noutros resulta da combinação dessa experiência com alguns dados estatísticos.

Quanto aos modelos, a sua análise evidenciou limitações diversas que comprometem a possibilidade de constituírem uma alternativa à legislação em vigor. Essas limitações vão desde o âmbito de aplicação até à não modelação de todos os fatores com impacto no risco.

Está em fase de conclusão um relatório LNEC com a designação “O risco de incêndio em edifícios. Métodos e modelos conhecidos”.

2.2 Consolidação da estrutura do MACSI_2E

Na sequência da análise sobre o estado de arte e do levantamento dos dados sobre registos de incêndios, foram feitos vários ajustamentos à estrutura inicialmente prevista.

Na proposta de investigação apresentada no âmbito do P2I (a partir daqui designada de proposta inicial), tinha-se previsto que o MACSI_2E integrava os seguintes modelos parciais:

- Modelação do edifício;
- Modelação da probabilidade de ocorrência de incêndio;
- Modelação do perigo de incêndio;
- Modelação da exposição dos ocupantes ao perigo;
- Modelação da intervenção dos bombeiros.

No essencial esta estrutura manteve-se tendo, no entanto, sido introduzidos diversos ajustamentos que, num caso, o da modelação da probabilidade de ocorrência do incêndio, se traduziu numa simplificação e, noutros, num maior aprofundamento do previsto inicialmente, como aconteceu com a modelação do perigo e a eficácia da intervenção dos bombeiros.

Nas secções seguintes é feita uma descrição do estado de desenvolvimento de cada um dos modelos que integram o MACSI_2E, utilizando-se nessa apresentação a estrutura descrita na secção 1 relativa às diferentes fases associadas a esse desenvolvimento.

2.3 Modelação do edifício

2.3.1 Modelo teórico

O desenvolvimento do modelo teórico de representação do edifício já foi concluído, recorrendo-se à decomposição das plantas dos pisos em malhas elementares, cada uma delas caracterizada por 3 dimensões, permitindo estabelecer deste modo uma forte correspondência entre essa representação e os espaços reais.

As diferentes colunas e linhas que resultam da decomposição das diversas plantas do edifício em malhas são definidas pelo utilizador do MACSI_2E, que tem total liberdade na escolha das dimensões. Relativamente à representação das vias verticais foi adotada uma representação que consiste em tornar cada uma num elemento retangular. Esse elemento tem uma largura que é igual à da via vertical e um comprimento que resulta da soma dos diversos troços dessa via ao longo dos diversos pisos que serve.

Para além da representação geométrica, o modelo permite também uma representação física do edifício, quer no que se refere a materiais e elementos da construção que o constituem quer aos meios de segurança ao incêndio instalados.

Das principais características do modelo destacam-se as seguintes:

- Representação das plantas do edifício, independentemente da sua forma, incluindo:
 - Dimensões das aberturas em cada espaço;
 - Localização das aberturas existentes nos espaços;
 - Localização dos elementos de compartimentação;
 - Posição dos elementos de cerramento dos vãos (abertos ou fechados);
 - Existência de obstáculos e mobiliário;
- Características dos materiais de revestimento
 - Dos pavimentos;
 - Das paredes;
 - Dos tetos.
- Localização e características de meios de deteção;
- Localização de sinalização de emergência;
- Localização de iluminação de emergência;

- Localização de equipamentos e sistemas de combate ao incêndio;
- Localização de sistemas de controlo de fumo;
- Características do conteúdo do edifício relacionada com a carga de incêndio dos espaços.

Dadas as suas potencialidades, o modelo permite construir os cenários de incêndio com elevado rigor, tendo as potencialidades necessárias para servir de suporte ao modelo de desenvolvimento do incêndio e ao modelo de simulação do movimento dos ocupantes.

2.3.2 Transformação do modelo em algoritmo

Já foi concluída a transformação do modelo em causa em algoritmo.

2.3.3 Implementação do algoritmo em computador

Com base no algoritmo relativo ao modelo, a Divisão de Infraestruturas Informáticas (DIEI) tem vindo a trabalhar na sua integração numa plataforma digital para futuro uso através da internet, tendo já sido desenvolvida uma primeira versão do modelo de dados e conseqüente representação em sistema de base de dados.

O trabalho da DIEI incidiu também na escolha das ferramentas de desenvolvimento e definição da arquitetura geral da plataforma Web a implementar, privilegiando-se a adoção de tecnologias informáticas Web *open source*.

Considerando que um dos aspetos mais críticos, porque condicionador do sucesso futuro da plataforma, se prende com a introdução de dados caracterizadores das plantas dos edifícios, o trabalho que se tem vindo a desenvolver tem privilegiado a procura de soluções amigáveis para o projetista.

Assim, tendo por base o modelo teórico referido na secção 2.3.1, que considera que as plantas dos pisos são decompostas em malhas elementares, encontra-se em desenvolvimento uma ferramenta de desenho que permita a representação das diversas plantas do edifício. A solução em desenvolvimento permite uma grande flexibilidade de alteração e correção de formas, bem como a caracterização física do edifício, a partir da caracterização de cada uma das malhas elementares usadas para representar os pisos do edifício.

2.3.4 Documentação

Está concluído um relatório LNEC com a designação “A Representação dos Edifícios no MACSI_2E”, que será editado brevemente.

2.3.5 Validação do modelo

Está em curso a validação do modelo em causa.

2.4 Fator relativo ao estado de conservação do edifício e das instalações técnicas

O impacto deste fator foi quantificado empiricamente e só afeta as condições de segurança antes da intervenção, pois após esta ocorrer considera-se que todas as instalações técnicas respeitam a legislação específica e o estado de conservação do edifício não agrava as condições de segurança ao incêndio. Assim, antes da intervenção este fator é inferior a 1, tomando o valor 1 para as condições de reabilitação.

Como este fator não é representado por um modelo, não existem as várias fases previstas para os diferentes modelos parciais que constituem o MACSI_2E.

2.5 Modelação do perigo de incêndio

2.5.1 Modelo teórico

O modelo relativo à quantificação do perigo encontra-se na fase final de desenvolvimento, faltando somente a questão da propagação do incêndio nas vias de evacuação.

Os fatores com impacto no perigo para as pessoas decorrem das manifestações associadas ao desenvolvimento do incêndio, as quais se traduzem, fundamentalmente, num aumento da temperatura e na produção de fumo e gases tóxicos.

Para a determinação das grandezas anteriormente referidas foi adotada uma metodologia que assenta na quantificação de um conjunto de grandezas, com destaque para as seguintes:

- Número de fontes de calor no cenário de incêndio
O cenário de incêndio pode ter uma única fonte de calor, ou então ter uma principal e outras secundárias.
- Caracterização das fontes de calor
As fontes de calor são caracterizadas pelas seguintes grandezas:
 - Densidade de carga de incêndio;
 - Massa de cada combustível;
 - Massa total do combustível.
 - Taxa de crescimento (NP EN 1991-1-2: 2010);
 - Taxa de decaimento (NP EN 1991-1-2: 2010);
 - Taxa máxima de libertação de calor por unidade de área (RHR_i) (NP EN 1991-1-2: 2010);
 - Outros.
- Evolução da potência calorífica devida às fontes de calor
Para a determinação da evolução da potência calorífica o modelo considera que a fase de crescimento do incêndio tem uma taxa de desenvolvimento parabólica no tempo (NP EN 1991-

1-2 e NFPA 92) e que a fase de decaimento da potência calorífica libertada é simétrica da anterior (NFPA 92).

- Limite superior da potência calorífica

O conhecimento do limite superior da potência calorífica é necessário para determinar o tempo total de combustão, sendo no modelo consideradas duas hipóteses de cálculo, estando a utilização de uma, ou de outra, dependente dos dados conhecidos sobre a carga de incêndio.

O modelo avalia, ainda, a possibilidade da carga de incêndio não ser suficiente para permitir que se atinja a taxa RHR_f .

- Propagação no cenário de incêndio

O modelo considera que a propagação do incêndio ocorre essencialmente devido à transmissão do calor por radiação que, por si só, tem potencial para promover a inflamação dos materiais expostos. Por essa razão o fluxo de calor recebido por radiação é utilizado como critério para definir o limiar de inflamação dos materiais expostos.

Quando não se conhece os materiais existentes, o modelo considera uma metodologia alternativa em que se faz intervir a distância entre a fonte de calor principal e as secundárias (NFPA 204).

- Determinação do tempo total de combustão

A determinação do tempo total de duração do incêndio pode ser obtida a partir do conhecimento de RHR_f para os diferentes cenários em causa, permitindo estabelecer a potência máxima atingida por cada fonte de calor (NP EN 1991-1-2). Nos casos em que os materiais existentes no cenário de incêndio sejam de natureza diversa, dificultando a estimação com o mínimo de rigor o valor de RHR_f , deverá ser feita uma adequada ponderação.

- Determinação do caudal mássico e do caudal volúmico de fumo

A determinação do caudal mássico e do caudal volúmico de fumo produzido, resulta do conhecimento da potência calorífica convectiva libertada e da altura da pluma térmica.

O valor dos referidos caudais para plumas axissimétricas depende da distância acima da base da fonte de calor a que se encontra a interface entre a camada quente e a fria.

Para os objetivos do MACSI_2E, a análise deve centrar-se essencialmente na fase de desenvolvimento do incêndio em que a cota do plano de interface é já relativamente baixa, isto é, quando a altura da pluma já é mais reduzida. Como para a situação descrita a cota limite de referência é inferior à distância acima da base da fonte de calor a que se encontra a referida interface, são adotadas para o cálculo dos caudais em causa as expressões relativas a essa condição (NFPA 92).

- Características do fumo

As características do fumo, nomeadamente da fração mássica de partículas integradas no fumo (Y_s), são fundamentais para efeitos da simulação da radiação incidente num alvo e das condições de visibilidade. Quando no cenário de incêndio existem vários combustíveis em

quantidades não definidas, torna-se necessário definir um único material que possa corresponder aproximadamente aos efeitos médios do conjunto.

- Propagação do cenário de incêndio às vias horizontais e verticais de evacuação
A modelação desta propagação está ainda em fase de desenvolvimento, devendo ser adotado um modelo simplificado que considera a não existência de fontes de calor naquelas vias. Assim, a degradação das suas condições ambientais deve-se, exclusivamente, à propagação do fumo desde o cenário de incêndio até estas vias devido à diferença de pressão que se estabelece entre esses diferentes espaços.

Refere-se, finalmente, que o valor das grandezas que caracterizam o perigo pode, ainda, ser obtido a partir de modelos de simulação do desenvolvimento do incêndio não integrados no MACSI_2E³, pois este fica preparado para receber esses dados, caso o utilizador assim o queira.

2.5.2 Transformação do modelo em algoritmo

Ainda não foi concretizada a transformação do modelo em algoritmo.

2.5.3 Implementação do algoritmo em computador

Ainda não foi feita a implementação do algoritmo em computador.

2.5.4 Publicações

Esta na fase de redação um relatório LNEC sobre esta matéria com a designação “A quantificação do perigo no MACSI_2E”.

2.5.5 Validação do modelo do modelo

Ainda não foi feita a validação do modelo em causa.

2.6 Modelação da ação dos meios passivos

2.6.1 Modelo teórico

O desenvolvimento do modelo está ainda numa fase inicial e contempla os seguintes meios de segurança:

- Condições de acessibilidade;
- Hidrantes exteriores existentes;
- Compartimentação e isolamento do cenário de incêndio;
- Reação ao fogo dos materiais de revestimento de pavimentos, paredes e pisos do cenário de incêndio e das vias de evacuação;

³ Estão neste caso os modelos CFAST e FDS, ambos do National Institute of Standards and Technology.

- Qualificação dos revestimentos de paredes exteriores;
- Proximidade do edifício a outros que lhe são fronteiros;
- Instalações técnicas;
- Organização e gestão da segurança ao incêndio.

A maior dificuldade de concretização deste modelo reside, essencialmente, na quantificação dos efeitos dos materiais de revestimento.

2.6.2 Transformação do modelo em algoritmo

Ainda não foi concretizada a transformação do modelo em algoritmo.

2.6.3 Implementação do algoritmo em computador

Ainda não foi feita a implementação do algoritmo em computador.

2.6.4 Publicações relacionadas com o modelo

Após a conclusão do desenvolvimento do modelo será redigido um relatório LNEC com a designação “A modelação da ação dos meios passivos de segurança ao incêndio no MACSI_2E”.

2.6.5 Validação do modelo

Ainda não foi feita a validação do modelo em causa.

2.7 Modelação da ação dos meios ativos

2.7.1 Modelo teórico

O modelo relativo à ação dos meios ativos está já concluído, tendo sido quantificado o efeito dos seguintes meios e sistemas de segurança ao incêndio:

- Meios de controlo de fumo;
- Sistemas automáticos de extinção de incêndio;
- Sistemas automáticos de deteção de incêndio.

Relativamente ao modelo de controlo de fumo consideraram-se as seguintes hipóteses:

- Existência de meios ativos;
- Existência de meios naturais distintos de fenestração direta para o exterior;
- Existência de fenestração direta para o exterior podendo os vãos ser facilmente abertos e as vias de evacuação com controlo de fumo;
- Inexistência de meios de controlo de fumo.

Foi modelada a capacidade de exaustão de fumo dos meios passivos existentes, enquanto para os ativos o projetista terá de indicar a massa volúmica que esses sistemas conseguem extrair.

Também a modelação dos efeitos dos sistemas automáticos de extinção de incêndio, cujo agente extintor é a água (*sprinklers*), está concluída, tendo-se adotado um modelo já existente [Haskteadt] que permite determinar a evolução da potência calorífica.

O objetivo destes sistemas é, fundamentalmente, o de limitar o desenvolvimento do incêndio e os seus efeitos são os seguintes:

- Redução da potência calorífica libertada;
- Redução da temperatura da camada quente;
- Redução significativa da concentração do CO, do CO₂ e outros gases tóxicos;
- Aumento do fumo produzido e destruição da camada superior onde este normalmente se situa, reduzindo a visibilidade.

Nos casos em que os sistemas automáticos de extinção usam um outro agente extintor distinto da água, o modelo considera que os efeitos são iguais apesar de, normalmente, terem uma maior eficácia quando comparados com os “sprinklers”.

Para que se possa considerar a existência dos sistemas automáticos de extinção é necessário que no edifício estejam implementados os seguintes meios de segurança:

- Depósito de abastecimento;
- Energia de emergência;
- Grupos hidropressores;
- Planos ou procedimentos de prevenção.

Finalmente, a modelação dos efeitos da existência de sistemas automáticos de deteção de incêndio está também concluída, tendo-se adaptado dois modelos distintos já existentes (NFPA 72), um relativo aos detetores térmicos o outro para os detetores de fumo.

2.7.2 Transformação do modelo em algoritmo

Ainda não foi concretizada a transformação do modelo em algoritmo.

2.7.3 Implementação do algoritmo em computador

Ainda não foi feita a implementação do algoritmo em computador.

2.7.4 Publicações relacionadas com o modelo

Após a conclusão do desenvolvimento do modelo será redigido um relatório LNEC com a designação “A modelação da ação dos meios ativos de segurança ao incêndio no MACSI_2E”.

2.7.5 Validação do modelo

Ainda não foi feita a validação do modelo em causa.

2.8 Modelo de simulação do movimento

2.8.1 Modelo teórico

Para a determinação da exposição dos ocupantes ao perigo foi desenvolvido um modelo de simulação da evacuação do edifício, que já está concluído.

A exposição dos ocupantes corresponde ao tempo durante o qual permanecem no edifício e não somente no cenário de incêndio e resulta da soma dos seguintes tempos:

- Tempo de deteção do incêndio;
- Tempo de reação dos ocupantes;
- Tempo de trajeto.

O tempo relativo ao trajeto é igual à soma dos tempos parciais gastos para percorrer, ou atravessar, um ou vários dos seguintes espaços e vãos:

- Locais (espaços onde as pessoas normalmente permanecem);
- Atravessamento de vãos;
- Corredores;
- Escadas;
- Átrio(s) de saída para o exterior.

A determinação do trajeto feito pelos ocupantes depende de vários fatores, sendo feita com base numa minimização dos percursos a efetuar, no caso em que no edifício existem exercícios de evacuação.

Quando esses exercícios não estão implementados, os percursos feitos pelos ocupantes são determinados com base no designado critério misto, definido com base nas seguintes grandezas:

- Distância entre o ocupante e as saídas;
- Dimensões das saídas;
- Visibilidade das saídas por parte dos ocupantes.

No modelo considera-se que a velocidade de deslocamento dos ocupantes depende da densidade dos grupos em que se inserem⁴, sendo a identificação desses grupos feita com base na proximidade existente entre as pessoas.

Foi também modelada a ocorrência de bloqueamentos no decurso da evacuação (formação do designado fenómeno de arco). A formação do fenómeno de arco provoca uma interrupção do movimento, originando-se no interior do grupo forças que irão provocar o rompimento desse arco para, de seguida, recomeçar o movimento. O fenómeno descrito pode repetir-se, sucedendo-se uma série de interrupções e recomeços do movimento até que a densidade desça para valores compatíveis com a largura das saídas.

Quanto à questão da influência do comportamento das pessoas foi adotada uma abordagem simplificada, que conduz a um agravamento do tempo de evacuação.

⁴ Se só estiver presente uma pessoa, trata-se do designado movimento livre.

Das características fundamentais do modelo de simulação destacam-se as seguintes:

- O tempo de evacuação de um edifício é igual à diferença entre o momento em que se inicia o incêndio e aquele em que ocorre a saída do último ocupante;
- O modelo permite uma análise microscópica do movimento, sendo que neste caso o microscópico é entendido como grupos de ocupantes;
- A evacuação começa após o sinal de alarme do sistema automático de deteção de incêndio (SADI), sendo para isso calculado o tempo de resposta dos detetores ou, no caso de não existir SADI, para uma determinada potência calorífica;
- Todos os ocupantes iniciam o movimento ao mesmo tempo;
- O movimento só é interrompido no atravessamento das saídas (secções de transição) se a densidade for superior a determinados valores;
- Após o início do movimento não é desencadeada, por parte do ocupante, qualquer outra ação que não tenha como objetivo a saída para o exterior;
- Para determinadas utilizações tipo existem pessoas incapacitadas, sendo neste caso adotada uma velocidade de deslocamento que é uma fração da calculada para pessoas em condições normais de mobilidade;
- A velocidade e o fluxo do movimento dependem da densidade dos ocupantes (Predtechenskii, 1978);
- A simulação da evacuação será feita em intervalos de tempos relativamente pequenos (máximo de 5 s), de modo a se obter um maior realismo.

2.8.2 Transformação do modelo em algoritmo

Ainda não foi concretizada a transformação do modelo em algoritmo.

2.8.3 Implementação do algoritmo em computador

Ainda não foi realizada a implementação do algoritmo em computador.

2.8.4 Publicações relacionadas com o modelo

Está na fase final de redação um relatório LNEC com a designação “A modelação da evacuação de edifícios em caso de incêndio no MACSI_2E”.

2.8.5 Validação do modelo

Ainda não foi feita a validação do modelo em causa.

2.9 Modelação da intervenção dos bombeiros

2.9.1 Modelo teórico

O modelo relativo à intervenção dos bombeiros já está concluído, tendo sido adotada uma metodologia distinta da proposta inicial, com vista a alcançar um maior rigor na quantificação dessa intervenção nas condições de segurança ao incêndio.

A eficácia da intervenção dos bombeiros depende de diversos fatores, uns intrínsecos ao próprio edifício, outros exteriores a este, destacando-se os seguintes:

- Tempo que decorre desde o início do incêndio até à sua efetiva intervenção;
- Meios de intervenção existentes no edifício;
- Abastecimento dos meios de extinção;
- Existência ou não de ascensores prioritários para os bombeiros em edifícios, no caso de edifícios de altura superior a 28 m;
- Hidrantes exteriores;
- Características das vias de acesso ao edifício;
- Características dos meios de intervenção que os bombeiros possuem.

No modelo desenvolvido os referidos fatores foram substituídos unicamente por dois, o designado tempo de intervenção e a relação entre a água necessária para combate ao incêndio e aquela que está disponível para esse combate.

O tempo de intervenção decorre entre o início de incêndio e o instante em que os bombeiros começam o combate e depende dos seguintes tempos parciais:

- Tempo de deteção;
- Tempo de notificação;
- Tempo de preparação de saída;
- Tempo de trajeto;
- Tempo de preparação para intervir.

O tempo de intervenção é comparado com o designado tempo de referência (T_{ref}) que corresponde ao instante em que há uma alteração significativa das condições de desenvolvimento do incêndio, tendo-se considerado que isso ocorre quando se verifica a inflamação generalizada.

Embora não exista um critério universal para definir o momento em que ocorre a inflamação generalizada é, frequentemente, aceite que tal ocorre para temperaturas da ordem entre os 500 °C e os 600 °C, tendo-se adotado no modelo o valor de 550 °C.

Quanto à água necessária para combate ao incêndio foi desenvolvida uma metodologia que permite calcular essas necessidades, quer para as operações ofensivas quer para as operações defensivas, comparando-se essa água com aquela que existe para efetuar o combate.

2.9.2 Transformação do modelo em algoritmo

Ainda não foi concretizada a transformação do modelo em algoritmo.

2.9.3 Implementação do algoritmo em computador

Ainda não foi realizada a implementação do algoritmo em computador.

2.9.4 Publicações relacionadas

Esta em fase de redação um relatório LNEC sobre esta temática com a designação "Modelação da eficácia da ação dos bombeiros no MACSI_2E".

2.9.5 Validação do modelo

Ainda não foi feita a validação do modelo em causa.

3 | Conclusões

O MACSI_2E tem uma estrutura complexa, cujo núcleo fundamental é constituído pelos seguintes modelos parciais:

- Modelo do fator de utilização e do estado das instalações;
- Modelo descritor do edifício;
- Modelo relativo ao perigo;
- Modelo relativo aos meios passivos de segurança;
- Modelo relativo aos meios ativos de segurança;
- Modelo relativo à exposição dos ocupantes;
- Modelo relativo à intervenção dos bombeiros.

Ao desenvolvimento do MACSI_2E estão associadas diversas etapas das quais se destacam as seguintes:

- Concretização dos vários modelos parciais;
- Transformação dos modelos parciais em algoritmos;
- Implementação dos algoritmos em computador;
- Artigos e comunicações relacionadas com os modelos parciais;
- Validação dos modelos parciais;
- Validação do MACSI_2E.

Do trabalho já realizado destaca-se a conclusão dos vários modelos, com exceção dos relativos ao fator de utilização e instalações, do perigo, dos meios passivos de segurança ao incêndio e o relativo à intervenção dos bombeiros, que estão na fase final de desenvolvimento.

No que se refere à transformação dos modelos em algoritmos, somente para o modelo descritor do edifício é que já se concretizou essa tarefa, incluindo a sua implementação em computador.

Relativamente a publicações relacionadas com o MACSI_2E, contam-se vários artigos com destaque para os seguintes:

- Coelho, A. Leça - "A segurança ao incêndio na reabilitação de edifícios. MARIEE: uma nova metodologia de apoio ao projeto". II Semana da Reabilitação Urbana. Lisboa, Sociedade de Geografia de Lisboa, 2015 19 de abril (Evento na agenda da Semana da Reabilitação Urbana de Lisboa).
- Coelho, A. Leça; Cordeiro, Elisabete - "A modelação do risco de incêndio em edifícios existentes". ICEUBI 2015, Internacional Conference on Engineering. Universidade da Beira Interior, dezembro 2, 3 e 4 Covilhã, Portugal.
- Coelho, A. Leça - "A Importância da Análise de Risco na Reabilitação de Edifícios na Perspetiva da Segurança ao Incêndio". Workshop Técnico da III Semana da Reabilitação Urbana de Lisboa. LNEC, Lisboa 7 de abril de 2016.

- Coelho, A. Leça - “Modelos de Análise de Risco de Incêndio para Edifícios Existentes”. ISCIA, Centro de Estudos em Proteção Civil. III Ciclo de Segurança e Proteção Civil. Segurança Contra Incêndio em Edifícios. Penafiel, 06 de maio de 2016.
- Coelho, A. Leça – “MARIEE: Modelo de análise de risco de incêndio em edifícios existentes”. 5.as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos, Lisboa, LNEC, 1 e 2 de junho de 2016.
- Coelho, A. Leça – “MARIEE: Modelo de evacuação de edifícios em caso de incêndio”. 5.as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos, Lisboa, LNEC, 1 e 2 de junho de 2016.
- Coelho, A. Leça - “Modelling of Fire Risk In Existing Buildings”. International Conference on Urban Risks, ICUR 2016. Lisbon, 2016, 30 June-2 July.
- Coelho, A. Leça - “O papel da análise de risco de incêndio na reabilitação de edifícios”. RIE 2016 - V Jornadas em Reabilitação de Infraestruturas e de Edifícios. Universidade Lusófona, Porto, 12 de maio de 2016.

Quanto a publicações LNEC, estão já preparados alguns relatórios com destaque para os seguintes:

- O Risco de incêndio em edifícios. Métodos e modelos conhecidos;
- A Representação dos Edifícios no MACSI_2E;
- A quantificação do perigo no MACSI_2E;
- A modelação da ação dos meios passivos de segurança ao incêndio no MACSI_2E;
- A modelação da ação dos meios ativos de segurança ao incêndio no MACSI_2E;
- A modelação da Evacuação de edifícios sob a ação de um incêndio no MACSI_2E.

No que se refere à validação dos modelos, está em fase de conclusão a relativa ao modelo descritor do edifício, enquanto para os outros ainda não teve início.

Refere-se finalmente que, apesar do atraso motivado pelas razões apontadas na Introdução, será possível concluir o MACSI_2E no prazo de 4 anos, inicialmente previsto.

Espera-se que até ao final do ano de 2019 seja possível ter uma versão preliminar do MACSI_2E para efeito de testes e validação.

Lisboa, LNEC, janeiro de 2019

VISTOS

O Diretor do Centro de Instrumentação Científica



João Carlos Viegas

AUTORIA



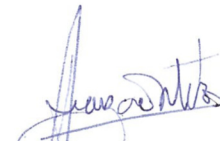
António Leça Coelho

Investigador principal com habilitação

O Diretor do Departamento de Edifícios



Jorge M. Grandão Lopes



Joaquim Augusto Neto

Especialista de informática G3N2

Referências bibliográficas

- COELHO, A. Leça, 2006 – **Proposta de uma Nova Metodologia de Abordagem à Segurança ao Incêndio em Portugal**. Programa conjunto de investigação e pós-graduação a apresentar às provas públicas para obtenção do título de habilitado para o exercício de funções de coordenação científica. Lisboa: março de 2006.
- COOPER, L.Y., 1988 – **Estimating the Environment and the Response of Sprinkler Links in Compartment Fires with Draft Curtains and Fusible Link-Actuated Ceiling Vents - Part I: Theory**. Gaithersburg: National Bureau of Standards, April 1988. NBSIR 88-3474, NBSIR 88-3474.
- FONSECA, E., 2013 – **Análise estatística de incêndios urbanos no Porto, 2007-2012**. Trabalho realizado no âmbito da Unidade curricular Projeto/Estágio Licenciatura em Engenharia de Proteção Civil da Universidade Lusófona. Porto: Universidade Lusófona.
- NFPA 92 – **Standard for Smoke Control Systems**. National Fire Protection Association: 2015.
- NP EN 1991-1-2, 2010 – Eurocódigo 1 - Ações em estruturas. Parte 1-2: Ações gerais. Ações em estruturas expostas ao fogo. Caparica: Instituto Português da Qualidade.
- NP EN 1993-1-2, 2010 – **Eurocódigo 3 - Projeto de estruturas de aço - Parte 1 - 2: Regras gerais - Verificação da resistência ao fogo**. Caparica: Instituto Português da Qualidade.
- PEACOCK, R. D., 2016 – **CFAST- Consolidated Fire and Smoke Transport (Version 7) Volume 4: Configuration Management**. Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology. NIST Technical Note 1889v4.
- PEACOCK, R. D.; McGRATTAN, Kevin B.; FORNEY, Glenn P.; RENEKE, Paul A., 2016 – **CFAST - Consolidated Fire And Smoke Transport (Version 7). Volume 1: Technical Reference Guide**. Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology. NIST Technical Note 1889v1.
- PEACOCK, R. D.; RENEKE, P. A., 2015 – **CFAST - Consolidated Fire and Smoke Transport (Version 7) Volume 3: Software Development and Model Evaluation Guide**. Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology. Technical Note 1889v3.
- PORTUGAL – **Critérios técnicos para determinação da densidade de carga de incêndio modificada**. Despacho n.º 2074/2009. Diário da República.
- PORTUGAL – **Regime jurídico de segurança contra incêndio em edifícios (SCIE)**. Decreto-Lei n.º 224/2015. Diário da República, 1.ª série - N.º 198 - 9 de outubro de 2015.
- PORTUGAL – **Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE)**. Portaria n.º 1532/2008 de 29 de dezembro. Diário da República, 1.ª série - N.º 250 - 29 de dezembro de 2008.
- PRIMO, Vítor M., 2008 – **Análise estatística dos incêndios em edifícios no Porto, 1996-2006**. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Segurança Contra Incêndios Urbanos. Coimbra: FCTUC.

SILVA, J. Manuel, 2014 – **Segurança Contra Incêndios na Reabilitação Sustentável de Edifícios Antigos**. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis. Guimarães: UM.

TEWARSON, A., 2002 – **Generation of heat and chemical compounds in fires**. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. National Fire Protection Association / Society of Fire Protection Engineers, 2002, pp. 3-82 a 3-161.

PREDTECHENSKII, V. M., 1978 – **Planning for Foot Traffic Flow in Buildings**. New York: Amerind Publishing Company.

