

MODELO DE ELEMENTOS FINITOS PARA AVALIAR O EFEITO DO AQUECIMENTO NAS CAVIDADES EM ELEMENTOS CONSTRUTIVOS PROTEGIDOS AO FOGO

*Domingos A.M. Pereira*¹

*Elza M.M. Fonseca*²

<https://orcid.org/0000-0003-1854-6514>

RESUMO

Neste trabalho, são apresentados diferentes modelos de elementos finitos, para avaliar o melhor desempenho no efeito do aquecimento de uma cavidade em elementos de construção submetidos ao fogo. Os elementos de construção em estudo são constituídos por vigas de madeira e protegidos com placas de gesso, não portantes com um lado exposto ao fogo, do tipo paredes divisórias interiores. Estes tipos de elementos são vulgarmente classificados como construção leve e rápida. Geralmente, há um espaço entre as paredes divisórias designado por cavidade de ar, que separa os elementos. O ar pode infiltrar-se nessa cavidade, aquecendo ou arrefecendo as superfícies adjacentes. Estão sujeitos à certificação, na qual consta a classificação da resistência ao fogo dos materiais sob o ponto de vista da sua integridade e isolamento. No presente estudo, é efetuada uma análise térmica em regime transiente, não-linear material, com condições fronteira para imposição da ação do fogo. É proposta uma solução numérica bidimensional com a utilização de elementos finitos PLANE55, SURF151 e LINK34, cujos resultados se aproximam a ensaios experimentais realizados por outros autores, permitindo validar o aquecimento em cavidades neste tipo de elementos construtivos.

Palavras-Chave: Madeira; Fogo; Gesso; Cavidade.

¹ Mestrando em Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Instituto Politécnico do Porto. Porto. PORTUGAL.

² Professor, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Instituto Politécnico do Porto. Porto. PORTUGAL.

**FINITE ELEMENT MODEL TO EVALUATE THE EFFECT OF
HEATING IN CAVITIES OF PROTECTED CONSTRUCTIVE
ELEMENTS SUBMITTED TO FIRE**

ABSTRACT

In this work, different models of finite elements are presented, to evaluate the best performance in the effect of heating a cavity in construction elements subjected to fire. The building elements under study are made of wooden beams and protected with non-bearing gypsum plasterboards with one side exposed to fire, like inner partition walls. This type of construction is fast and designed as light wood. Generally, there is a space between partition walls called an air cavity, which separates the elements. Air can infiltrate this cavity, heating or cooling the adjacent surfaces. These elements are submitted to certification, which is the fire resistance classification of the materials according to their integrity and insulation. In the present study, a thermal and transient analysis is carried out, and non-linear material, with boundary conditions for fire exposure. A two-dimensional numerical solution is proposed using PLANE55, SURF151 and LINK34 finite elements, whose results are close to experimental tests carried out by other authors, allowing to validate the heating in cavities in this type of constructive elements.

Keywords: Wood; Fire; Gypsum; Cavity

Artigo Recebido em 05/06/2023
Aceito em 29/09/2023
Publicado em 10/10/2023

1. INTRODUÇÃO

Os componentes construtivos em estudo são elementos não portantes com um lado exposto ao fogo, do tipo paredes divisórias interiores, constituídos por montagem entre vigas de madeira maciça, protegidas por placas de gesso ou outros materiais de revestimento (CEN, 2015), (PEREIRA e FONSECA, 2023). A cavidade interna de ar, formada pelas placas de revestimento, pode ser preenchida ou não com um material de isolamento. A resistência ao fogo destes elementos depende da proteção imposta e do efeito que a cavidade possa ter no aquecimento dos elementos envolventes de madeira.

A definição de resistência ao fogo é definida de acordo com o regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios RT SCIE (DL220 de 2008) (RJSCIE, 2008). A resistência ao fogo é assim, uma medida pelo tempo durante o qual, sob a ação de um incêndio, os elementos construtivos continuam a desempenhar as funções para os quais foram concebidos. A madeira é um recurso abundante, representando uma solução ecológica na construção, mas apresenta limitações, uma vez que é combustível na presença de um incêndio. A utilização de uma metodologia numérica permitirá prever o seu comportamento ao fogo e auxiliar no dimensionamento deste tipo de estruturas.

Neste trabalho são desenvolvidos modelos numéricos, utilizando o método de elementos finitos através do programa ANSYS®, aferidos com o ensaio experimental (Test 4) realizado por (TAKEDA e MEHAFFEY 1998). Pretende-se validar um modelo numérico para que se torne possível o estudo posterior de novos modelos construtivos com cavidades e aplicáveis ao projeto.

2. MODELO EXPERIMENTAL

Para análise do modelo experimental apresentado por (TAKEDA e MEHAFEEY 1998), foram utilizadas as propriedades dos materiais de gesso e madeira, considerando-se o valor da massa volúmica próxima à do estudo, assim como a condutividade térmica, mas impondo a variação não linear conforme enunciado no Eurocódigo 5, parte 1-2 (CEN, 2004).

Estes autores realizaram diferentes ensaios experimentais, sendo neste trabalho efetuada a comparação com o Test 4, em que utilizam 2 placas de gesso tipo X com 15,9 mm de espessura (massa volúmica de 648 kg/m³). Por se considerar com características próximas às do ensaio foram utilizadas as propriedades da madeira lamelada colada GL24H e o gesso tipo A, conforme se evidencia na Figura 1, (PEREIRA e FONSECA, 2023).

Foram analisados os perfis de temperaturas para o último instante de exposição ao fogo e a evolução da temperatura em pontos de controlo idênticos aos autores (A, E, F). Observou-se ainda a seção residual da madeira nos instantes de tempo de exposição de 90, 100 e 110 minutos.

elemento também permite a aplicação de uma fronteira térmica, pela sobreposição ao elemento bidimensional.

Os modelos numéricos desenvolvidos consideraram diferentes hipóteses de análise relativa às cavidades do modelo construtivo, conforme se demonstra na figura 2:

- M1 - Modelo com Malha de Ar (PLANE55) considerado como um modelo sólido permitindo a condução de calor dentro da cavidade;
- M2 - Modelo com efeito da radiação pela introdução de um novo elemento finito (SURF151) no interior da cavidade;
- M3 - Modelo com fronteiras de radiação e convecção na cavidade pela introdução de uma curva de ensaio T_f _Test4, representativa da evolução da temperatura no interior;
- M4 - Modelo com efeito da radiação e convecção pela introdução de dois novos elementos finitos (SURF151 + LINK34) no interior da cavidade.

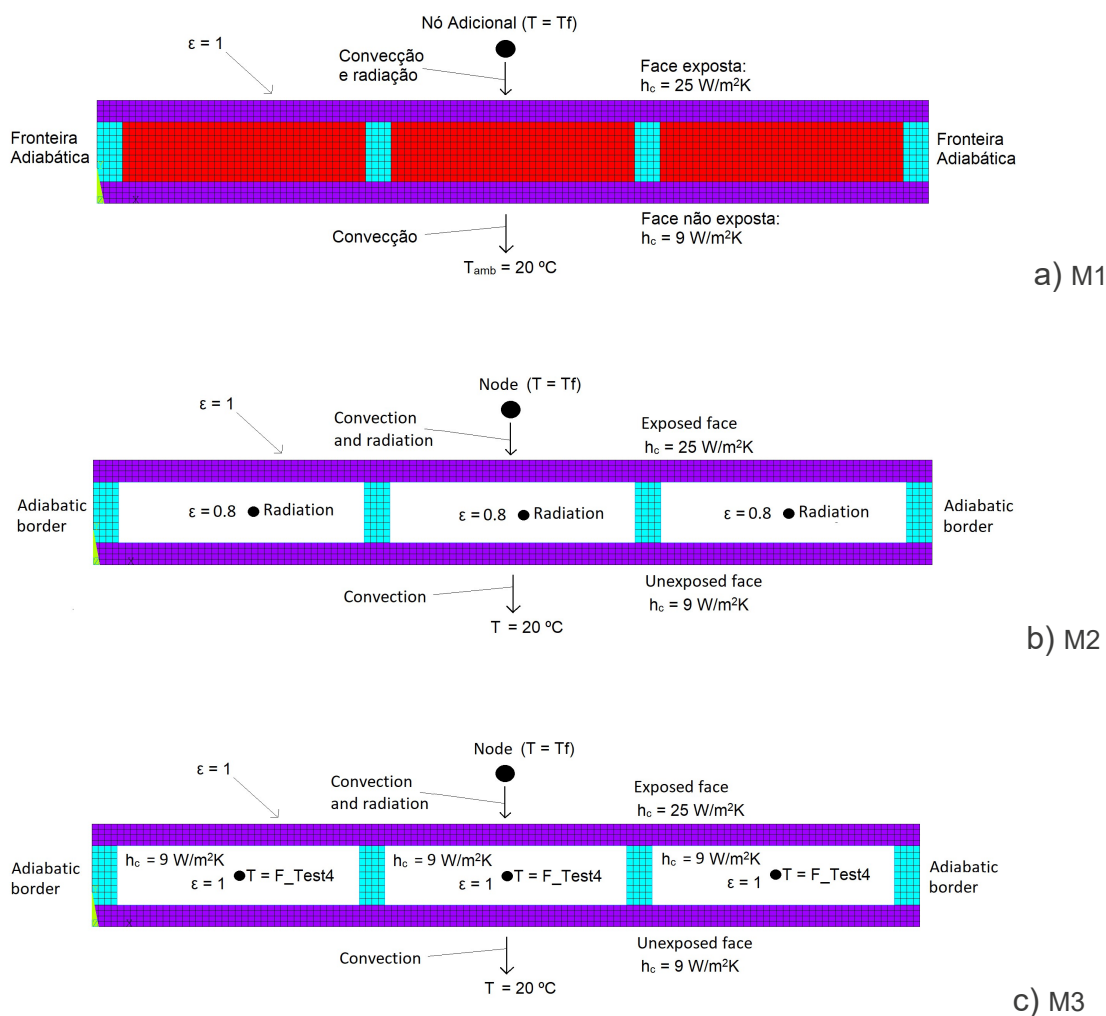
Na elaboração da malha de elementos finitos, assumiu-se contacto perfeito entre todos os materiais, de forma a permitir a condução de energia térmica entre os mesmos, com a dimensão de aresta do elemento igual a 10 mm. Consideram-se as características térmicas associadas à madeira GL24H, gesso tipo A e ar, de acordo com as referências (CEN, 2004), (GOMES, FONSECA e LOPES, 2002), (PEREIRA e FONSECA, 2023), de forma a aproximar aos materiais envolvidos no Test 4 (TAKEDA e MEHAFFEY 1998).

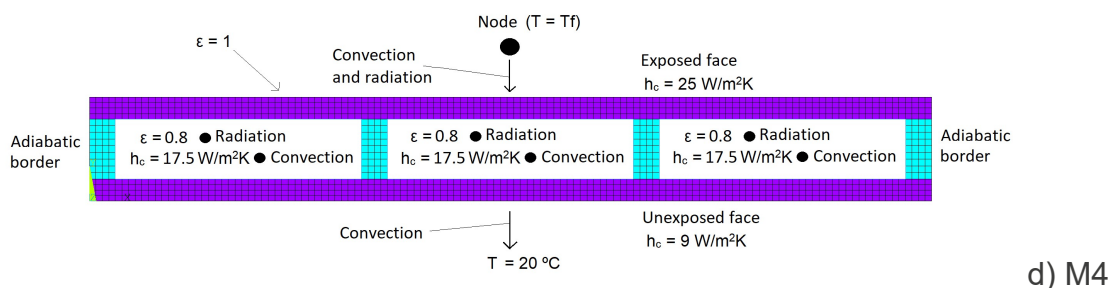
Na face do modelo exposta ao fogo, as condições de fronteira são a radiação e a convecção, com o efeito do aumento da temperatura pela introdução da curva de incêndio experimental T_f , seguindo as diferentes referências (TAKEDA e MEHAFFEY 1998), (CEN, 2021), (CEN, 2015), (ISO, 1999) (A. UJMA e N. UMNIAKOVA, 2019), (PEREIRA e FONSECA, 2023). As condições iniciais do modelo correspondem à temperatura ambiente de 20°C. Na face não exposta foi considerada a condição de convecção. Nas fronteiras laterais do modelo, foi admitida a condição adiabática, sem trocas de calor

nessas zonas. Todas estas condições obedecem ao Eurocódigo 1 parte 1-2 (CEN, 2012).

Na Figura 2 representam-se as malhas dos diferentes modelos numéricos desenvolvidos e as condições de fronteira aplicadas.

Figura 2: Malhas e condições de fronteira. Cavity com: a) M1 - air mesh; b) M2 - radiation; c) M3 - heating curve; d) M4 - radiation and convection.



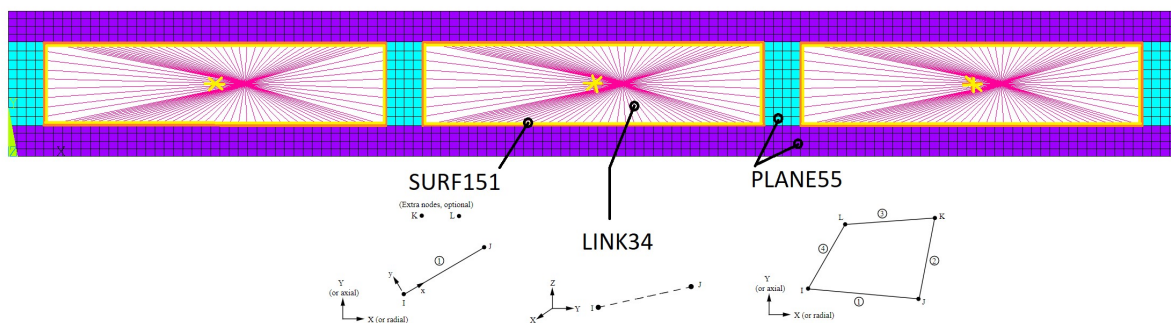


Para satisfazer as condições não lineares do problema, o programa recorre ao método iterativo de Newton-Raphson, utilizando um critério de convergência baseado no fluxo de calor com uma tolerância admitida de 0,9. O tempo total das simulações dos modelos corresponde ao tempo de exposição ao fogo de 120 minutos, (PEREIRA e FONSECA, 2023).

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

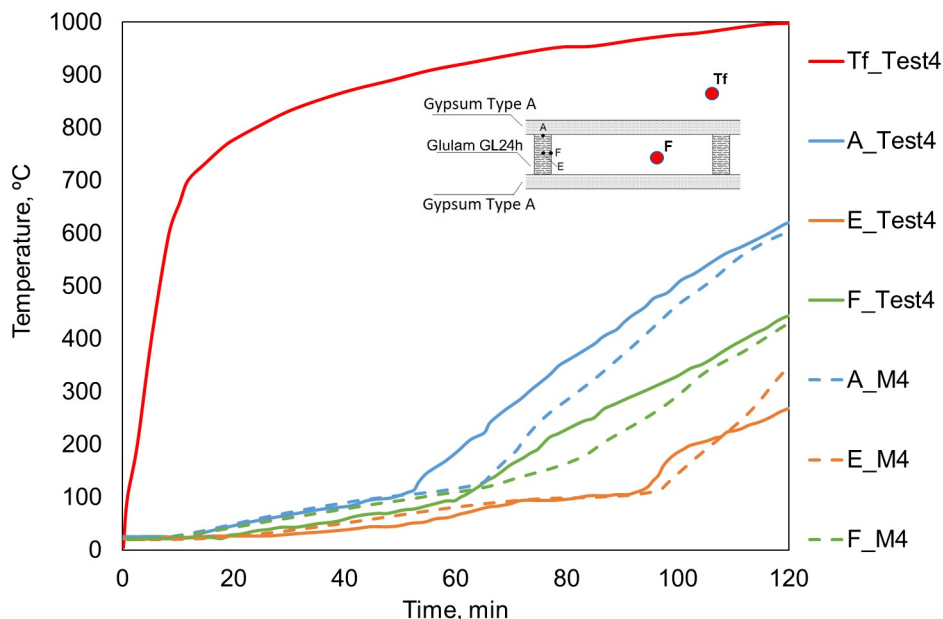
Com base na análise efetuada a cada modelo, conclui-se que o modelo M4 é o que aproxima melhor a solução, possuindo 3 elementos finitos distintos para a modelação do efeito da cavidade com base na radiação e convecção interna (SURF151 + LINK34), Figura 3.

Figura 3: Malha de elementos finitos do modelo M4.



Para a validação do modelo M4, observam-se na Figura 4 as curvas da evolução da temperatura nos diferentes pontos nodais, comparativamente ao Test 4 do ensaio experimental (A, E, F).

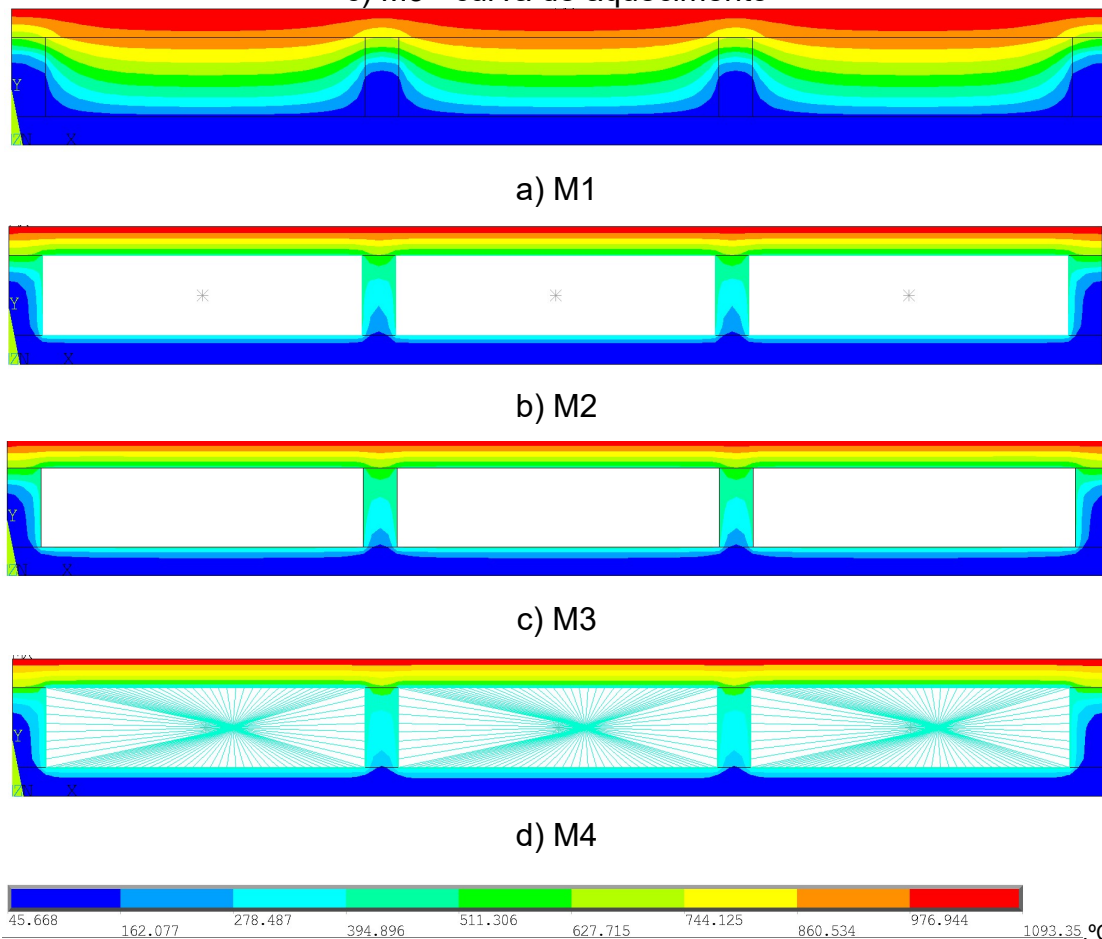
Figura 4: Campo de temperatura, modelo M4 – radiação e convecção.



Neste gráfico, encontra-se a curva de incêndio real utilizada no ensaio laboratorial Tf_test4, também utilizada nos modelos numéricos. A curva A é aquela que apresenta o maior campo de temperaturas por se localizar entre a interface do gesso e a madeira. A curva E é a que tem um perfil de temperaturas menor por se localizar no interior do componente de madeira. O M4 é o modelo que tem um comportamento mais próximo do experimental, podendo assim validar os resultados do teste utilizado (TAKEDA e MEHAFFEY 1998).

Apresentam-se ainda os resultados do campo de temperaturas obtidos para o instante final de análise 120 min, por comparação entre todos os modelos desenvolvidos, Figura 5.

Figura 5: Campo de temperaturas para o instante final de exposição.
Cavidade com: a) M1 - malha de ar; b) M2 - radiação;
c) M3 - curva de aquecimento

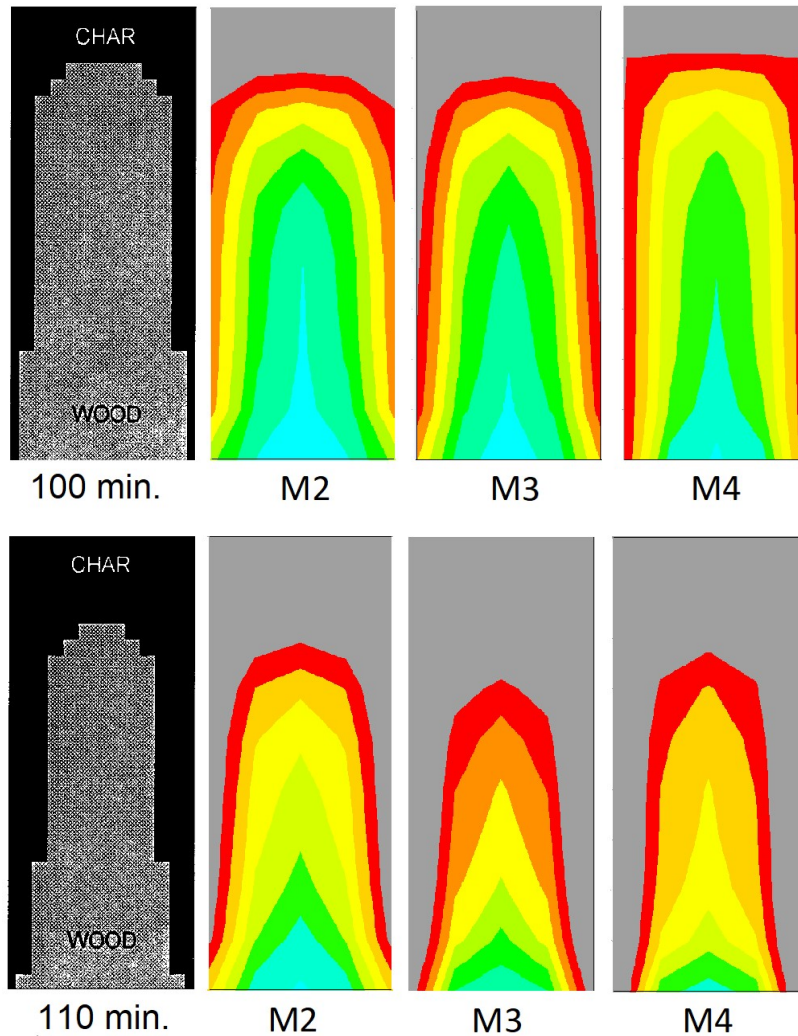


Observa-se que o perfil de temperaturas entre os modelos M2 e M3 são muito semelhantes, demonstrando por isso a importância na consideração das condições de fronteira dentro da cavidade. O M4 apesar de ter um comportamento muito próximo aos modelos M2 e M3, nota-se um ligeiro aquecimento na cavidade transmitido às fronteiras e absorvida pelo elemento de madeira. O modelo M1 sendo de condução, não representa na totalidade, o ensaio característico neste tipo de componentes.

Os modelos também foram analisados de acordo com a evolução da carbonização ao longo do tempo para diferentes instantes de tempo de 100 e

110 minutos, Figura 6. O perfil de madeira utilizado para analisar a carbonização foi numa seção do montante central, de forma a obter resultados para a região mais crítica. A temperatura limite considerada para a formação da camada carbonizada, imposta pelos autores, foi 288 °C.

Figura 6: Comparação da evolução da carbonização com o modelo M2 – M3 – M4.



Analisando as imagens, verifica-se que a carbonização no modelo numérico M4 apresenta uma evolução próxima à obtida no ensaio experimental de (TAKEDA e MEHAFFEY 1998), (PEREIRA e FONSECA, 2023).

Para aferir a seção residual, apresenta-se a Tabela 1 com os valores comparáveis entre os modelos desenvolvidos e o ensaio experimental, em diferentes instantes de exposição ao fogo. Do cálculo efetuado, verifica-se que o modelo M4 é que melhor aproxima o valor da seção residual ao modelo experimental. O modelo M4 utilizado na comparação de resultados, atesta assim, ser o que melhor representa a evolução de temperaturas para este tipo de modelos construtivos com o efeito notório provocado pelo aquecimento da cavidade.

Tabela 1: Secção residual dos diferentes modelos M2 – M3 – M4

Modelo	Secção Residual (%)			
	90 min	100 min	110 min	120 min
Experimental	81,8	65,7	51,7	25,6
M2	100,0	96,6	92,1	88,2
M3	100,0	92,6	72,6	36,4
M4	96,8	88,3	51,3	13,3

5. CONCLUSÕES

O modelo desenvolvido M4 foi o que melhor aproximou a solução, com capacidade de modelar o interior de uma cavidade de ar aquecida. A validação do modelo numérico desenvolvido M4 permitirá agora, desenvolver e analisar novos modelos construtivos na avaliação de resistência ao fogo deste tipo de estruturas construtivas, úteis ao projeto. Esses novos modelos paramétricos, permitirão avaliar diferentes variáveis na resistência ao fogo, através do efeito

da variação: da camada de isolamento com diferentes espessuras, da introdução de elementos isolantes nas cavidades, da alteração das dimensões dos elementos de madeira. Este tipo de variáveis será útil para propor um modelo de cálculo simplificado, a utilizar de forma rápida no projeto.

REFERÊNCIAS

A. UJMA, N. UMNIAKOVA. **Thermal efficiency of the building envelope with the air layer and reflective coatings.** *E3S Web of Conferences* 100, p.00082, 2019.

CARLOS GOMES; ELZA M. M. FONSECA; HERNÂNI M. LOPES. **Thermomechanical Analysis of Steel-to-Timber Connections under Fire and the Material Density Effect.** *Applied Sciences* 12, p.10516, 2022.

CEN, EN1995-1-2: **Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-2: General Structural fire design**, Brussels, 2004.

CEN, EN 1363-1: **Fire resistance tests Part 1: General Requirements**, Brussels, 2012.

CEN, EN 1364-1: **Fire resistance tests for non-loadbearing elements. Part 1: Walls**. Brussels: 2015.

DOMINGOS A. M. PEREIRA, ELZA M. M. FONSECA. **Avaliação da Seção Residual de Elementos Construtivos de Suporte em Madeira com Proteção Submetidos ao Fogo.** *Atas das 8JORNINC e 3JORPROCIV*, ISBN: 978-989-35087-3-2, p.48-55, 2023.

RJSCIE, Decreto-Lei nº 220/2008 de 12 de novembro, **Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios** - RJSCIE, Portugal, 2008.

ISO, ISO834-1: **Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements.** Int. Organization for Standardization, 1999.

TAKEDA, H.; MEHAFFEY, J. R. **WALL2D: a Model for Predicting Heat Transfer through Wood-Stud Walls Exposed to Fire.** *Fire and Materials* 22, p.133-140, 1998.