



Instituto Politécnico  
de Castelo Branco



albrasci  
associação luso-brasileira  
para a segurança contra incêndio

## **7<sup>as</sup> Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos**

## **2<sup>as</sup> Jornadas de Proteção Civil**



**INSTITUTO POLITÉCNICO DE CASTELO BRANCO**

**17 e 18 de junho de 2021**

**ATAS**

**EDITORES**

Cristina Calmeiro dos Santos

João Paulo Correia Rodrigues

Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida sem autorização escrita do editor.

**ISBN: 978-989-54814-9-1**

**Editado por:**

**IPCB** – Instituto Politécnico de Castelo Branco, Avenida Pedro Álvares Cabral, nº 12  
6000-084 Castelo Branco. Portugal.

## PREFÁCIO

A importância da Segurança Contra Incêndio de Edifícios (SCIE) nos diversos domínios do projecto e edificação é indiscutível, pois está em jogo não só a vida das pessoas mas também a proteção de bens patrimoniais, valores históricos e arquitectónicos com forte simbolismo e, ainda, a continuidade da laboração de empresas e de serviços estratégicos para a sociedade em geral. Contudo, apesar da sua importância, trata-se duma área que ainda não tem uma consolidação efetiva no nosso País, quer ao nível do ensino quer do projeto e da construção, apesar da profusão de regulamentação existente e dos vários projetos de investigação que têm sido realizados. É, por outro lado, uma área em que existe ainda muito do conhecimento empírico adquirido ao longo de anos de contactos com incêndios reais, experiências e exercícios diversos, em que o progresso dos conhecimentos científicos tem sido lento, fruto da sua complexidade e interdisciplinaridade.

No entanto, o País tem conhecido, nos últimos anos uma evolução assinalável quer no domínio do ensino quer no domínio legislativo. A concretização de programas de mestrado e doutoramento nesta área, para além da publicação de nova legislação nacional e europeia, em paralelo com outras ações, deram à SCIE uma visibilidade que então não tinha. Também ao nível dos equipamentos laboratoriais para o ensaio e certificação dos produtos da construção, o Estado Português tem feito um grande investimento, mas não tão bem aproveitado pelas instituições, pois muitos dos equipamentos encontram-se deficientemente instalados ou não estão acreditados e ao serviço das empresas que continuam a ensaiar os seus produtos no estrangeiro.

As Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos (JORNINC) começaram em 2006, aquando da realização do primeiro Mestrado em Segurança Contra Incêndios Urbanos na Universidade de Coimbra. Este curso constituiu uma viragem no ensino superior em SCIE em Portugal.

As JORNINC pretendem ser um evento nacional, onde em cada dois anos, se discuta o que tem sido feito de mais significativo na área. Pretende-se que as mesmas constituam um fórum de debate alargado para técnicos, licenciadores, bombeiros e demais interessados na área.

Estas Jornadas são atualmente acompanhadas por umas Jornadas de Proteção Civil (JORPROCIV) que vão na sua 2ª edição. A Proteção Civil é uma área importante na proteção das pessoas e merece um evento onde se discuta a problemática e a investigação que tem sido realizada em Portugal na área.

Para finalizar queria desejar-lhe as boas vindas a estas Jornadas no IPCB e espero que estes eventos sejam do seu maior interesse.

**João Paulo Correia Rodrigues**

(Professor de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra)

## COMISSÃO ORGANIZADORA

António Moura Correia (Instituto Superior de Engenharia de Coimbra)

António Leiras (Universidade de Coimbra)

Celestino António Morais de Almeida (Instituto Politécnico de Castelo Branco)

Cristina Calmeiro dos Santos (Instituto Politécnico de Castelo Branco)- Coordenadora

Débora Ferreira (Instituto Politécnico de Bragança)

Fernando Pedro S. da S. D. Simão (Universidade de Coimbra)

João Paulo Correia Rodrigues (Universidade de Coimbra)

José Pedro Lopes (Autoridade Nacional de Proteção Civil)

Nuno José Mendes Fernandes Caseiro (Instituto Politécnico de Castelo Branco)

Paulo Alexandre Justo Fernandez (Instituto Politécnico de Castelo Branco)

Paulo Prata Ramos (Universidade de Coimbra)

Rúben Lopes (Universidade de Coimbra)

Sérgio Braga (Universidade de Coimbra)

Fernando Teixeira Gomes (Universidade de Coimbra)

## COMISSÃO CIENTÍFICA

Aldina Maria Santiago (Universidade de Coimbra)  
António Moura Correia (Instituto Politécnico de Coimbra)  
Carlos Ferreira de Castro (Action Modulers)  
Carlos Pina dos Santos (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)  
Carlos Sousa Oliveira (Universidade de Lisboa)  
Cristina Calmeiro dos Santos (Instituto Politécnico de Castelo Branco)  
Débora Ferreira (Instituto Politécnico de Bragança)  
Elza Fonseca (Instituto Superior de Engenharia do Porto)  
Fernando Pedro S. da S. D. Simão (Universidade de Coimbra)  
Humberto Varum (Universidade do Porto)  
João Paulo Correia Rodrigues (Universidade de Coimbra) - Coordenador  
João Ramôa Correia (Universidade de Lisboa)  
José Carlos Baranda Ribeiro (Universidade de Coimbra)  
José Carlos M. Góis (Universidade de Coimbra)  
José Gaspar (Instituto Politécnico de Coimbra)  
José Luís Zêzere (Universidade de Lisboa)  
Julieta Pires António (Universidade de Coimbra)  
Lino Forte Marques (Universidade de Coimbra)  
Luciano Fernandes Lourenço (Universidade de Coimbra)  
Luís Mesquita (Instituto Politécnico de Bragança)  
Miguel Chichorro Gonçalves (Universidade do Porto)  
Nuno Lopes (Universidade de Aveiro)  
Paulo A. G. Piloto (Instituto Politécnico de Bragança)  
Paulo B. Lourenço (Universidade do Minho)  
Paulo J. S. Cruz (Universidade do Minho)  
Paulo Jorge M. F. Vila Real (Universidade de Aveiro)  
Pedro Carvalheira (Universidade de Coimbra)  
Pedro Coelho (Universidade de Lisboa)  
Ricardo Mendes Lopes (Universidade de Coimbra)  
Rui Faria (Universidade do Porto)



# ÍNDICE

**Prefácio**

**Comissões**

**Índice**

**Índice de Autores.....271**

## **PALESTRA I - Incêndios Florestais e de interface**

José Gaspar

### **AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO EM ZONAS INDUSTRIAIS NA INTERFACE FLORESTAL**

Deives Junior de Paula; João Paulo Correia Rodrigues; Cristina Calmeiro dos Santos

.....1

### **CARACTERIZAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO RURAL NO DISTRITO DE VILA REAL**

André Rodrigues; Carlos Hermenegildo; Johnny Reis; Miguel Sousa; Jorge Raposo

.....12

### **CARACTERIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL - INTERFACE URBANO-FLORESTAL**

Fernando C. T. Gomes; João Paulo Correia Rodrigues; Cristina Calmeiro dos Santos

.....27

### **DANOS EM EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS AFETADOS POR INCÊNDIOS FLORESTAIS**

Rúben F. R. Lopes; João Paulo Correia Rodrigues; António B. Tadeu; Cristina Calmeiro dos Santos

.....35

## **PALESTRA II – A Nova e Atual Regulamentação Portuguesa de Segurança Contra Incêndio em Edifícios**

Mário Grilo

### **ANÁLISE COMPARATIVA DE APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO**

Bernardete de Lourdes Ferreira Minervino; João Paulo Correia Rodrigues; Cristina Calmeiro dos Santos; Paulo Gustavo von Krüger

.....44

<b>ANÁLISE DE RISCO BASEADA NO DESEMPENHO A PARTIR DE CENÁRIOS DE INCÊNDIO</b>	
Antônio B. Leiras; João Paulo Correia Rodrigues	
.....	54
<b>AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO: MÉTODO DE GRETENER APLICADO AO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA</b>	
Gabriela Dalfollo Brackmann; Amanda Laura Pires; Larissa Degliuomini Kirchhof; Rogério Cattelan Antochaves de Lima	
.....	63
<b>ANÁLISE DE RISCO DE PRÉ E PÓS INCÊNDIO NA IGREJA MATRIZ DE PIRENÓPOLIS/GO – UM ESTUDO DE CASO</b>	
Bernardete de Lourdes Ferreira Minervino; João Paulo Correia Rodrigues; Cristina Calmeiro dos Santos; Paulo Gustavo von Krüger	
.....	71
<b>PALESTRA III - Sistemas de Proteção Ativa de Segurança Contra Incêndios para Edifícios</b>	
Deives Junior de Paula	
<b>SISTEMAS HIDRÁULICOS PARA PROTEÇÃO ATIVA DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS EM ZONAS DE INTERFACE INDUSTRIAL FLORESTAL</b>	
Deives Junior de Paula; João Paulo Correia Rodrigues	
.....	79
<b>AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIOS ELÉTRICOS ATRAVÉS DE INSPEÇÕES PERIÓDICAS</b>	
Gustavo Silva da Rocha; João Paulo Correia Rodrigues; Daniel da Silva Gazzana	
.....	88
<b>INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO NO BRASIL E EM PORTUGAL</b>	
Rodrigo Almeida Freitas; João Paulo Correia Rodrigues	
.....	96
<b>PALESTRA IV - Projeto Arquitetônico na Segurança Contra Incêndio</b>	
Aline Lopes Camargo	

<b>INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO NOS EUA E JAPÃO</b> Rodrigo Almeida Freitas; João Paulo Correia Rodrigues	104
<b>CONCRETOS GEOPOLIMÉRICOS DE CINZAS VOLANTES E SUA APLICAÇÃO EM PROJETOS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS</b> João Leal Vivian; João Paulo Correia Rodrigues	112
<b>MODELO NUMÉRICO PARA LAJES MISTAS DE AÇO E CONCRETO SUJEITAS AO INCÊNDIO</b> Fabricio L. Bolina; João Paulo Correia Rodrigues	120
<b>BENDING RESISTANCE OF COMPOSITE SLABS UNDER FIRE</b> Paulo A. G. Piloto; Carlos Balsa; Matheus B. Silveira; Gustavo L. Dias	135
<b>COMPORTAMENTO AO FOGO DE LIGAÇÕES AÇO-MADEIRA-AÇO</b> Vânia S.B. da Silva; Elza M.M. Fonseca; Hernâni M. Lopes; Armando V. Campos	144
<b>PALESTRA I - Emergência Médica em Portugal na Covid 19</b> Paula Cristina M. C. Neto	
<b>SEGURANÇA CONTRA INCÊNCIO EM HOSPITAIS – EVACUAÇÃO E RISCOS APLICADOS A PESSOAS COM MOBILIDADE REDUZIDA BASEADA NOS REGULAMENTOS DE SCIE E ACESSIBILIDADE NO BRASIL</b> Antonio Rubens R. A. Junior; João Paulo Correia Rodrigues	152
<b>EVACUAÇÃO EM CASO DE INCÊNDIO DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES</b> Flavia Nascimento; João Paulo C. Rodrigues; Cristina Calmeiro dos Santos	160
<b>EVACUAÇÃO EM EDIFÍCIOS ALTOS SOB SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: UMA ÓTICA DA ARQUITETURA</b> Lilian Cristina Ciconello; João Paulo C. Rodrigues	171

## **PALESTRA II - A Proteção Civil à Escala das Novas Sub-Regiões**

José Lopes e Carlos L. Tavares

### **INTEGRAÇÃO DOS RISCOS NATURAIS NO PROCESSO DE PLANEAMENTO E GESTÃO DE ESPAÇOS RURAIS. PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O MUNICÍPIO DE IDANHA-A-NOVA**

Luís Quinta-Nova

.....179

### **IMPACTO DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA GESTÃO DE EMERGÊNCIA DE UM ACIDENTE GRAVE ENVOLVENDO MATÉRIAS PERIGOSAS: CASO DE ESTUDO NA LINHA FERROVIÁRIA DE LEIXÕES**

Miguel Sousa; Artur Fernandes Costa; Johnny Reis; Daniel Graça; André Rodrigues

.....184

### **CONCEPÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE EXTINÇÃO DE INCÊNDIOS POR ÁGUA**

Tiago M. Orantos Borralho; Domingos A. Barbosa Gonçalves; João Paulo Correia Rodrigues

.....198

### **ANÁLISE COMPARATIVA DO RISCO DE INCÊNDIO RURAL COM BASE NO TEOR DE HUMIDADE DOS COMBUSTÍVEIS MEDIDOS EM COIMBRA, VISEU, VIANA DO CASTELO E FARO**

Jorge Raposo; Xavier Viegas; Luís Reis; Daniela Alves; André Rodrigues; Eusébio Conceição; Joaquim Alonso; Sérgio Lopes; David Lucas

.....208

## **PALESTRA III - Avaliação do Risco de Incêndio Baseada no Desempenho**

António Leiras

### **RESISTÊNCIA AO FOGO DE VIGAS-COLUNA COM SECÇÕES ELÍPTICAS OCAS ESBELTAS EM AÇO INOXIDÁVEL**

Flávio Arrais; Nuno Lopes; Paulo Vila Real

.....214

### **COLUNAS MISTAS DE DUPLO-TUBO – COMPARAÇÃO ENTRE OS ENSAIOS EXPERIMENTAIS E OS MODELOS ANALÍTICOS DE CÁLCULO**

Aline Lopes Camargo; João Paulo Correia Rodrigues; Ricardo Hallal Fakury

.....223

<b>AVALIAÇÃO E REPARAÇÃO DE ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS DANIFICADAS PELO INCÊNDIO</b>	
Marco P. M. Filipe; João Paulo Correia Rodrigues	
.....	231
<b>SECÇÕES ESBELTAS EM AÇO INOXIDÁVEL SUJEITAS A FLEXÃO E A COMPRESSÃO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO</b>	
Flávio Arrais; Nuno Lopes; Paulo Vila Real	
.....	242
<b>ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS AO FOGO</b>	
Tiago M. Orantos Borralho; Domingos A. Barbosa Gonçalves; João Paulo Correia Rodrigues	
.....	251
<b>SISTEMAS DE EXTINÇÃO DE INCÊNDIOS POR AGENTE EXTINTOR DIFERENTE DA ÁGUA</b>	
Marco P. M. Filipe; João Paulo Correia Rodrigues	
.....	261



7<sup>AS</sup> JORNADAS DE SEGURANÇA AOS INCÊNDIOS  
URBANOS (7JORNINC)

2<sup>AS</sup> JORNADAS DE PROTEÇÃO CIVIL (2JORPROCIV)



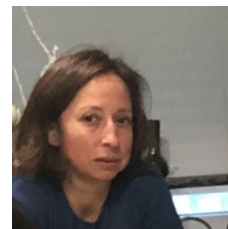
# AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO EM ZONAS INDUSTRIAIS NA INTERFACE FLORESTAL



**Deives Junior de Paula**<sup>1</sup>  
Investigador  
UC – Portugal  
IPT – Brasil



**João Paulo Correia Rodrigues**  
Professor  
UC – Portugal



**Cristina Calmeiro dos Santos**  
Professora  
IPCB – Portugal

## SUMÁRIO

Os edifícios de natureza industrial, por conta das características do processo fabril de bens de consumo e de transformação de matéria prima, possuem distintas características construtivas. A ocorrência de um incêndio nestes edifícios pode provocar a perda do patrimônio, de equipamentos, de bens manufaturados e de vidas humanas que ali trabalham, além de outras questões indiretas (p.ex. questões de ordem ambiental). Associemos ao exposto a possibilidade de eventos de incêndios externos a este tipo de edificação, que é o caso de incêndios que ocorrem na interface industrial florestal, e teremos um cenário potencial capaz de promover perdas e consequências severas ao desenvolvimento de uma região e até de um país, interrompendo atividades produtivas, aumentando o desemprego e prejuízos econômicos relevantes. Em Portugal, foram afetadas pelo grande incêndio ocorrido em 2017 na região do Pedrógão Grande um total de 15 indústrias, sendo 5 severamente danificadas e 8 totalmente destruídas. Diante desta situação potencial, é fundamental conhecer, por meio de metodologias reconhecidas na avaliação do risco de incêndio, quais os riscos envolvidos e das necessidades de atendimento para mitigação e/ou controle destes riscos. Na área de segurança ao incêndio existem metodologias que podem ser adotadas para a avaliação do risco de incêndio nas edificações industriais, como os métodos de Gretener e de FRAME (Fire Risk Assessment Method for Engineering). Identifica-se que o método hierárquico pode ser aplicado na avaliação do risco de incêndio em edifícios industriais, por meio de estudos já conhecidos.

O objetivo deste artigo é de identificar os potenciais riscos relacionados com o problema do incêndio na zona de interface industrial florestal, levantar os aspetos que sejam relevantes e que possam ser ponderados na avaliação do risco de incêndio por meio de metodologias existentes utilizadas para avaliar o risco de incêndio em edifícios industriais.

**Palavras chave:** risco; incêndio; interface industrial florestal; edifícios industriais

---

<sup>1</sup>Deives Junior de Paula – Universidade de Coimbra, Portugal email: uc2020138722@student.uc.pt

## 1. INTRODUÇÃO

Os edifícios de natureza industrial, por conta de características do processo fabril de bens de consumo e de transformação de matéria prima, possuem distintas características construtivas e de ocupação, se tomarmos como referência os edifícios residenciais.

A ocorrência de um incêndio nestes edifícios pode provocar a perda do patrimônio, de equipamentos, de bens manufaturados e de vidas humanas que ali trabalham, além de outras questões indiretas (p.ex. questões de ordem ambiental). Com a possibilidade de ocorrer eventos externos a este tipo de edificação, que é o caso de incêndios que ocorrem na interface industrial florestal, temos um cenário capaz de promover tais perdas e de consequências severas ao desenvolvimento de uma região e até de um país, interrompendo atividades produtivas, aumentando o desemprego e prejuízos relevantes.

Diante desta situação potencial é fundamental entender os fatores que podem ser considerados na avaliação do risco de incêndio na interface industrial florestal e de como estes fatores podem ser inseridos em metodologias de análise de risco de incêndio existentes.

O objetivo deste artigo é de identificar os potenciais riscos relacionados ao problema do incêndio na zona de interface industrial florestal e de levantar os aspectos relevantes que podem ser ponderados nas metodologias para avaliação do risco de incêndio nos edifícios industriais que porventura estejam localizados nestas zonas de interface.

## 2. INCÊNDIOS NAS ZONAS DE INTERFACE INDUSTRIAL FLORESTAL

A preocupação com os incêndios florestais é algo que sistematicamente tem sido objeto de estudo e de preocupação da Comunidade Europeia. No relatório *“Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2018”* [1], publicado pelo Joint Research Centre da Comunidade Europeia, o total de ocorrências de incêndios florestais em 20 países pertencentes à comunidade europeia (Bulgária, Croácia, Chipre, República Checa, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Itália, Letônia, Lituânia, Holanda, Polônia, Portugal, Romênia, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Suécia) é de 53.493 incêndios florestais, totalizando 339.726 ha de área destruída por estes incêndios.

Destes países, Portugal concentra o maior número de incêndios em 2018, com 12.436 ocorrências de incêndios (23,25% do total de incêndios entre os 21 países da Comunidade Europeia), em função do grande incêndio ocorrido neste mesmo ano. Entretanto, para o mesmo período, a Itália, apesar do número de incêndios ser relativamente menor (3220 ocorrências de incêndio), a área destruída com a ação destes incêndios é de 161.987 ha (47,68 % do total de incêndios entre os 21 países da Comunidade Europeia). Ou seja, os incêndios florestais afetam de forma significativa as comunidades, os negócios e as atividades econômicas em toda a Europa.

Com relação aos incêndios florestais que afetaram zonas de interface com edifícios industriais, temos como evento mais próximo e recente o relatado por Viegas et al. [2] em 2018, a ocorrência dos danos provocados no grande incêndio florestal na região do Pedrógão Grande, atingindo 15 indústrias, e destas, 8 foram totalmente destruídas e 5 sofreram danos significativos prejudicando a sua operação.

Ficou caracterizado que 61% (636) das estruturas foram ignizadas por meio do depósito de brasas incandescentes, 21% (222) das estruturas ignizadas pelo impacto direto do fogo e 13% (133) das estruturas ignizadas pela queima de materiais nos seus arredores, totalizando 95% (991) de todas as estruturas afetadas pelo grande incêndio de Pedrógão Grande. Com relação ao ponto onde ocorreu a ignição, ficou caracterizado que 62% (644) das ignições ocorreram pelo teto, 16% (169) pelas janelas e 7% (75) pelas portas, totalizando 85% (888) dos casos. Tais elementos nos proporcionam direcionar ações no sentido de subsidiar as avaliações do risco de incêndio nesta zona de interface.



Figuras 1 e 2 – Edifícios industriais que foram afetados por incêndios florestais em 2018.

Como exemplo de ocorrências em outro continente, em maio de 2015 [3], os incêndios florestais na província de Alberta, no Canadá, se propagaram para as zonas industriais em que estavam instaladas duas grandes empresas de petróleo, a Canadian Natural e Cenovus Energy, e tais incêndios fizeram com que cada uma destas empresas deixasse de produzir 80.000 e 135.000 barris de petróleo por dia, respectivamente. Em 2016, novos incêndios florestais queimaram parte de Fort McMurray, também em Alberta, Canadá, e se propagaram na direção das refinarias ao norte da cidade, provocando queda de 40% na produção de petróleo por conta do fechamento das instalações.

O controle do incêndio florestal torna-se relevante, principalmente quando as instalações industriais apresentam um elevado risco de incêndio. Além das questões de ordem econômica, os incêndios podem resultar em consequências catastróficas ao entorno. O ocorrido em Alberta [3], afetou as instalações de processamento de petróleo e gás combustível ao incêndio florestal, colocou em exposição ao fogo os tanques de armazenamento de produtos inflamáveis, os quais foram danificados pelo calor convectivo, pela sua radiação ou pela queda de brasas incandescentes propagadas pelo vento e, desta forma, contribuíram com a propagação do incêndio para instalações adjacentes, também conhecido como efeito dominó [4].

### 3. ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO

De acordo com Koutsomarkos et.al [5], o desenvolvimento das técnicas dedicadas a quantificação para a avaliação do risco de incêndio na área de engenharia de segurança contra incêndio apresenta três características comuns:

- Os parâmetros devem ser identificados;
- Os parâmetros devem ser ponderados e quantificados;
- O índice de risco de incêndio deve ser calculado a partir dos valores ponderados.

Os autores dos métodos começam utilizando códigos e normas já existentes que em muitos dos casos constituem a base para a identificação dos parâmetros, isso provoca a limitação e campo de aplicação do método, delimitando-o a um tipo de construção particular. Apesar desta preocupação dos autores com a construção, nem sempre todas as suposições são declaradas e os parâmetros e ponderações são devidamente validados. Observa-se que o método Delphi [6] é utilizado na tomada de decisão por modelagem matemática empregando o uso de probabilidades, visando atribuir pesos de forma sistemática, considerando uma validação de critérios por opinião de especialistas no determinado assunto.

Existem estudos de desenvolvimento de metodologias para análise de risco de incêndio em edificações utilizando o método hierárquico [7]. Observa-se que a partir dos objetivos definidos na política, que no caso é a redução do risco de incêndio na edificação, de que sejam avaliadas se as medidas de proteção contra incêndio para a edificação são (ou não) capazes de atender às estratégias para o cumprimento dos objetivos definidos inicialmente na política.

Foram desenvolvidos diferentes métodos para análise de risco que, foram considerando situações e propósitos específicos e, por esta razão, uma vez que tais métodos atingiram o seu objetivo, em muitos casos não são mais utilizados. Isso mostra que a longevidade do método de análise de risco pode estar limitada ao contexto de sua criação. Isto acaba demonstrando que a maioria dos métodos não são passíveis de atualização, ou que talvez seja mais fácil começar de novo em vez de atualizar uma abordagem anterior. Este último ponto é ainda enfatizado pelo facto de que a documentação de alguns métodos nem sempre está completa e a base para decisões nem sempre é clara. Os métodos que podem ser utilizados para a avaliação do risco de incêndio nas edificações industriais, segundo Dobbernack, R. [8], são as metodologias de Gretener [8] e de FRAME (Fire Risk Assessment Method for Engineering) [9], conhecidos pela indústria e mercado segurador.

Foi apresentada por Ferreira, Rodrigues e Coelho [10,11] a proposta de utilização do método hierárquico para avaliação do risco de incêndio em estações de tratamento de resíduos sólidos urbanos, um tipo de infraestrutura tipicamente inserida em zonas industriais. A primeira parte de seu estudo [10] trata do desenvolvimento do método, apresentando as políticas, as estratégias e medidas relativas que devem ser consideradas para o tipo de edificação em estudo, atribuindo-se as importâncias relativas entre os níveis hierárquicos (p. ex. entre os objetivos e as estratégias e entre as estratégias e as medidas de proteção). A segunda parte [11] traz a aplicação deste método. Sob o ponto de vista de assertividade em relação à proteção contra incêndio, o método hierárquico considera o risco tal-e-qual na essência, trazendo a avaliação do risco de incêndio para a aplicação definida em sua origem. Entretanto, o ajuste deste método para a nova configuração de risco de incêndio a ser avaliada, ou seja, um outro tipo de edificação e de ocupação, fará com que sejam modificadas as estratégias e as consequentes medidas de proteção para atendimento aos objetivos definidos na política, ou seja, novos parâmetros precisam de ser construídos e se reproduzem num novo método. Tais métodos consideram o desenvolvimento do incêndio no interior do edifício ou em áreas dentro dos limites da propriedade, mas não levam em conta os incêndios na envoltória dos limites adjacentes à propriedade, que é o caso dos incêndios nas zonas de interface. Diante das considerações acima, o desenvolvimento da avaliação do risco de incêndio na zona de interface industrial torna-se algo mais específico. Nota-se que grande parte das pesquisas abordam o risco de incêndio nas zonas de interface urbana florestal (foco do estudo nas habitações) e que poucos são os estudos para avaliação do risco de incêndio na zona de interface industrial florestal [3], sendo alguns destes em indústrias de petróleo.

Indiferentemente do tipo de atividade industrial, o impacto negativo das perdas sociais e econômicas com a descontinuidade da atividade industrial e a destruição das estruturas, provenientes de um incêndio, é um factor relevante e deve ser levado em conta. Segundo Khakzad [8], a modelagem e avaliação de risco de incêndios em zonas de interface industrial florestal são importantes, porque além do potencial de danos às instalações industriais, existe a possibilidade de perda substancial da receita devido a paralisação das operações (seja por questões de segurança ou de reparo/substituição das utilidades industriais).

O comportamento do fogo na zona de interface, ou seja, entre a floresta e o edifício industrial, desde a sua ignição, com a consequente propagação e desenvolvimento, tem características particulares. Dentro deste contexto, estão identificados a seguir os aspetos relevantes a serem considerados na avaliação do risco de incêndio na interface industrial florestal.

A ação destrutiva dos incêndios florestais em Pedrógão Grande [2] demonstrou que o fogo encontrou condições favoráveis para a ignição dos materiais na envoltória dos edifícios, com o avanço de suas chamas pelas laterais e pelo depósito de partículas incandescentes nas coberturas destas edificações carregadas pelo vento em sua grande maioria. Portanto, o controle da aplicação dos materiais de construção utilizados na envoltória das edificações quanto ao seu comportamento ao fogo torna-se relevante, exposto nas investigações de White & Delichatsios [12], em que:

- Os incêndios em fachadas se constituam em eventos de menor frequência e as consequências resultantes em termos de extensão da propagação do incêndio e das perdas patrimoniais podem ser potencialmente elevadas;
- Os afastamentos entre elementos de revestimento de fachada com a estrutura da parede (substrato) auxiliam a uma propagação mais rápida e intensa das chamas do que em fachadas planas;

- Nas ocorrências estudadas existiam situações em que os edifícios foram construídos sem atender às exigências regulamentares para reação ao fogo dos materiais de construção;
- A queda de partículas em chamas se constitui como perigo significativo. No incêndio ocorrido na Zona Industrial (ZI) da Tocha, a cobertura do edifício foi afetada pelo incêndio florestal e o material proporcionou o avanço ao interior do mesmo (Figuras 3 e 4).



Figuras 3 e 4 – Edifício afetado pela queda de partículas em chamas de um incêndio florestal

Outros fatores importantes que podem influenciar o risco de incêndio, bem como a sua propagação e desenvolvimento para dentro da zona industrial, são:

- A organização do atendimento a emergências é relevante pois uma inadequada organização da emergência pode levar a ausência ou insuficiência das medidas para combate ao incêndio na envoltória do edifício, frente a dimensão promovida pelo potencial dano do incêndio florestal em direção à zona industrial. A ausência de um plano de emergência que esteja no domínio dos ocupantes do edifício e que distribua as tarefas que devem ser realizadas quando de uma emergência, seja para realizar a evacuação das pessoas do edifício de forma segura, seja para iniciar as ações de combate inicial ao incêndio até à chegada dos Bombeiros, é um risco potencial e merece a atenção devida;
- A localização do edifício dentro da zona industrial e sua proximidade com a mancha florestal, não somente a distância do edifício em relação a floresta, mas como é constituída a cobertura vegetal, desde o coberto herbáceo, passando pelo arbustivo até as povoações arbóreas, e o seu estado de humidade, que dependerá do clima e das condições meteorológicas de determinado instante (Figuras 5 e 6).



Figuras 5 e 6 – Exemplos de envoltória florestal ao redor de zona industrial

- A arquitetura na utilização do espaço envolvente e o envelope do edifício industrial. Quanto mais os edifícios estiverem localizados na periferia da zona industrial, mais estes estarão suscetíveis à ação dos incêndios florestais;
- A utilização de revestimentos não adequados à ação do fogo, com especial preocupação ao seu posicionamento, a dimensão e a quantidade de vãos no edifício, podem facilitar a penetração de partículas em chama no interior do edifício (Figuras 7 e 8).



Figuras 7 e 8 – Situação em que ocorreu a entrada de chamas, gases quentes e partículas inflamadas: portão da indústria (figura 7); janela translúcida (figura 8).

#### 4. ANÁLISE DOS PARÂMETROS PARA DETERMINAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO NA ZONA DE INTERFACE CONSIDERANDO A METODOLOGIA FRAME

Considerando os aspectos associados à proteção do patrimônio e das atividades industriais desenvolvidas, vai-se analisar o método FRAME [9] sobre a sua abordagem, de forma a identificarmos os ajustes para a aplicação na avaliação do risco de incêndios na interface industrial florestal. Este método teve origem no método de Gretener e tem como base cinco princípios básicos:

- 1) Deve existir o equilíbrio entre o perigo e as medidas de proteção. O método propõe que isto seja expresso matematicamente, em que o valor do risco seja igual à razão entre o perigo e a proteção, e que este valor seja igual ou inferior a 1. Ou seja, valores do risco superiores a 1 correspondem a uma situação desfavorável sob o ponto de vista do risco de incêndio. O dano causado por um incêndio deve ser limitado à divisão existente, não pode haver a existência de vítimas e deve-se ter condições de retornar ao edifício depois do incêndio ter ocorrido;
- 2) Os perigos são mensurados por dois fatores, sendo que o primeiro define o caso mais desfavorável a considerar, e o segundo define a extensão das possíveis consequências. Portanto, são determinados 2 valores para compor os perigos, como sendo o “Risco Potencial (P)” e o “Risco Aceitável (A)”;
- 3) A determinação dos valores para o fator de proteção consideram diferentes medidas de proteção que são usualmente utilizadas nas edificações, sejam elas de proteção passiva, como por exemplo, meios para evacuação dos ocupantes (escadas e rampas de acesso), a resistência ao fogo dos elementos construtivos, a separação física dos riscos, a reação ao fogo dos materiais de construção; sejam elas de proteção ativa, como por exemplo, os meios manuais de intervenção (extintores e sistemas de boca armada de combate ao incêndio), os meios automáticos de intervenção (sistemas de detecção e alarme de incêndio, sistemas de chuveiros automáticos); o auxílio público, como por exemplo o apoio ao combate pelo Corpo de Bombeiros;
- 4) Deve-se determinar o valor do risco para 3 situações distintas, sendo o primeiro valor para o edifício e o seu conteúdo, correspondente à componente “patrimonial”; o segundo valor relativo aos ocupantes do edifício, correspondente à componente “pessoas”, e a terceira que envolve a atividade econômica que se desenvolve no edifício, correspondente à componente “atividades”. Os fatores para determinação em cada componente são distintos e os meios de proteção para cada uma das situações podem apresentar resultados diferentes;
- 5) A unidade de cálculo é sempre associada a um compartimento no mesmo nível (andar). Se existem vários compartimentos ou vários níveis (andares), são necessários cálculos para cada compartimento e para cada andar ou, pelo menos, para os compartimentos mais representativos do perigo de incêndio no edifício.

Os parâmetros que estão associados aos riscos do bem patrimonial (R) e das atividades (R2) trazem ao método algumas das preocupações que são manifestadas no risco de incêndio nas zonas de interface industrial florestal, como por exemplo, as características construtivas de resistência e de reação ao fogo dos materiais, das medidas de proteção ativa e dos afastamentos entre as áreas de risco, mas estes parâmetros têm como essência o desenvolvimento do incêndio no interior do compartimento. No caso do risco aos ocupantes (R1) há uma preocupação com relação à preservação da vida humana e da saída das pessoas do edifício em uma situação de risco. A seguir estão apresentadas as equações para mensuração dos riscos e os parâmetros aplicados. Não se

apresenta a abordagem de como são calculados, cujos detalhes estão em planilhas de cálculo e no manual do FRAME publicado por De Smet [9].

O valor do risco associado aos bens patrimoniais ( $R$ ) é determinado pela Equação 1:

$$R = P/(A.D) \quad (1)$$

Onde: P: Risco Potencial associado à edificação  
A: Risco Aceitável para a edificação  
D: Nível de proteção associado à edificação

O risco potencial  $P$  é determinado pela Equação 2:

$$P = q.i.g.e.v.z \quad (2)$$

Onde: q: fator de carga de incêndio (carga térmica do que está armazenado);  
i: fator de propagação do incêndio;  
g: fator de geometria horizontal;  
e: fator dos andares;  
v: fator de ventilação;  
z: fator de acessibilidade.

O risco aceitável  $A$  é determinado pela Equação 3:

$$A = 1,6 - a - t - c \quad (3)$$

Onde: a: fator de ativação;  
t: fator de evacuação;  
c: fator de conteúdo.

O nível de proteção  $D$  é determinado pela Equação 4

$$D = W.N.S.F \quad (4)$$

Onde: W: fator dos recursos de água;  
N: fator de proteção normal;  
S: fator de proteção especial;  
F: fator de resistência ao fogo.

O valor do risco associado aos ocupantes ( $R1$ ) é determinado pela Equação 5:

$$R1 = P1/(A1.D1) \quad (5)$$

Onde: P1: Risco Potencial associado aos ocupantes na edificação  
A1: Risco Aceitável associado aos ocupantes na edificação  
D1: Nível de proteção para os ocupantes na edificação

O risco potencial  $P1$  é determinado pela Equação 6:

$$P1 = q.i.e.v.z \quad (6)$$

Onde : q: fator de carga de incêndio (carga térmica do que está armazenado);  
i: fator de propagação do incêndio;  
e: fator dos andares;

v: fator de ventilação;  
z: fator de acessibilidade.

O risco aceitável  $A1$  é determinado pela Equação 7:

$$A1 = 1,6 - a - t - r \quad (7)$$

Onde: a: fator de ativação;  
t: fator de evacuação;  
r: fator ambiental.

O nível de proteção  $D1$  é determinado pela Equação 8:

$$D1 = N.U \quad (8)$$

Onde: N: fator de proteção normal;  
U: fator de fuga.

O valor do risco associado às atividades ( $R2$ ) é determinado pela Equação 9:

$$R2 = P2/(A2.D2) \quad (9)$$

Onde: P2: Risco Potencial associado às atividades na edificação;  
A2: Risco Aceitável associado às atividades na edificação;  
D2: Nível de proteção associado às atividades na edificação.

O risco potencial  $P2$  é determinado pela Equação 10:

$$P2 = i.g.e.v.z \quad (10)$$

Onde: i: fator de propagação;  
g: fator de geometria horizontal;  
e: fator dos andares;  
v: fator de ventilação;  
z: fator de acessibilidade.

O risco aceitável  $A2$  é determinado pela Equação 11:

$$A2 = 1,6 - a - c - d \quad (11)$$

Onde: a: fator de ativação;  
c: fator de conteúdo;  
d: fator de dependência.

O nível de proteção  $D2$  é determinado pela Equação 12:

$$D2 = W.N.S.Y \quad (12)$$

Onde: W: fator de recursos em água;  
N: fator de proteção normal;  
S: fator de proteção especial;  
Y: fator de salvaguarda.

Na determinação dos riscos potenciais, nas três situações (P, P1 e P2), está presente o fator de propagação do incêndio  $i$ , que atribui pesos quanto à classificação da reação ao fogo dos materiais das superfícies no compartimento, de definir uma dimensão média do conteúdo que esteja presente no compartimento e qual a temperatura mínima para que ocorra a inflamação dos materiais no compartimento.

Quanto à determinação dos riscos aceitáveis, nas três situações (A, A1 e A2), está presente o fator de ativação do incêndio  $a$ , fortemente associado à natureza da atividade industrial, ao uso de fontes de aquecimento, à qualidade das instalações elétricas na indústria e ao risco de explosão no interior da planta industrial. Ainda, nestas três situações, ocorre a aplicação do fator de conteúdo  $c$  que é calculado em função da característica do que está no interior do compartimento, se são conteúdos substituíveis, dificilmente substituíveis ou insubstituíveis, considerando no dimensionamento deste fator o valor dos bens presentes.

Ou seja, na avaliação dos riscos potenciais e dos riscos aceitáveis, estão presentes variáveis que têm atributos capazes de serem utilizados para uma avaliação do risco de incêndio na envoltória dos edifícios. Uma questão a ser colocada é da delimitação da área de avaliação do risco, no caso o risco de incêndio incidente na envoltória do edifício. Considerando a abordagem matemática do método e de que a análise destes riscos envolve o interior dos compartimentos, pode-se propor uma abordagem alternativa e de certa forma análoga, mas com o foco na envoltória do edifício ( $Re$ ), conforme a Equação 13:

$$Re = Pe / (Ae \cdot De) \quad (13)$$

Onde:  $Pe$ : Risco Potencial associado à envoltória da edificação  
 $Ae$ : Risco Aceitável na envoltória da edificação  
 $De$ : Nível de proteção associado à envoltória da edificação

O risco potencial  $Pe$  é determinado pela Equação 14:

$$Pe = q \cdot i \cdot g \cdot e \cdot v \cdot z \quad (14)$$

Onde:  $q$ : fator de carga de incêndio na envoltória do edifício (carga térmica do que está na envoltória do edifício);  
 $i$ : fator de propagação do incêndio na envoltória do edifício;  
 $v$ : fator de ventilação;  
 $e$ : fator dos andares;  
 $z$ : fator de acessibilidade.

O risco aceitável  $Ae$  é determinado pela Equação 15:

$$Ae = 1,6 - a - c \quad (15)$$

Onde:  $a$ : fator de ativação na envoltória do edifício;  
 $c$ : fator de conteúdo na envoltória do edifício.

O nível de proteção  $De$  é determinado pela Equação 16:

$$De = W \cdot N \cdot S \cdot F \cdot Y \quad (16)$$

Onde:  $W$ : fator dos recursos de água;  
 $N$ : fator de proteção normal;  
 $S$ : fator de proteção especial;  
 $F$ : fator de resistência ao fogo na envoltória do edifício.  
 $Y$ : fator de salvaguarda.

Os fatores envolvidos nas equações que determinam  $Pe$ ,  $Ae$  e  $De$ , tendo em conta os incêndios na envoltória dos edifícios precisam de ser ajustados, pois são sensíveis para a determinação do risco na envoltória do edifício ( $Re$ ). Os comentários para a realização de ajustes em alguns destes parâmetros estão apresentados a seguir.

- Fator de geometria horizontal g: o ajuste deve levar em conta as condições do desenvolvimento do incêndio na área exterior ao edifício, uma vez que os cálculos levam em conta os incêndios dentro do edifício;
- Fator de propagação do incêndio i: o ajuste é fundamental neste novo parâmetro, pois envolverá o que está na envoltória analisada do edifício. Deve-se aqui definir qual é a abrangência desta envoltória, ou seja, dimensões características e sua volumetria, de forma a gerar parâmetros quantificáveis. Além disto, como se trata de fachadas e de coberturas, ou seja, pensando em incêndios que se propagam do exterior para o interior do edifício, deve-se neste parâmetro considerar a classificação da reação ao fogo dos materiais de fachada e de cobertura, pensando na atribuição de materiais com melhor comportamento ao fogo visando a proteção na envoltória contra a ação de incêndios externos;
- Fator da carga de incêndio q: deve-se determinar o valor da carga de incêndio a qual esteja presente na interface florestal industrial, de forma que ocorra a ponderação equivalente ao que hoje se tem para o interior dos compartimentos no presente método. As distâncias, as alturas e os diferentes materiais combustíveis da interface são variáveis que influenciam a determinação desta carga de incêndio;
- Fator dos andares e: o ajuste é importante, pois a altura da edificação também tem influência na propagação vertical do incêndio;
- Fator de acessibilidade z: o ajuste é importante, pois a acessibilidade na envoltória do edifício contará significativamente para contenção e combate inicial ao incêndio;
- Fator de proteção especial S: o fator de proteção associado aos sistemas de proteção especiais pode ser ajustado com o objetivo da implementação de sistemas preventivos para irrigar as superfícies da edificação durante a ocorrência de um incêndio florestal, como um sistema de chuveiros automáticos externos, e tal eficiência destes sistemas, as quais ainda não são conhecidas em literatura, devem ser aferidas por meio de estudos experimentais, de forma a subsidiar a aplicação. Outras medidas de combate contra os incêndios advindos do exterior, como por exemplo, o uso de canhões monitores e de combate aérea, podem ser incorporados e ponderados na composição deste fator;
- Fator de resistência ao fogo na envoltória do edifício F: neste fator já estão incorporados os coeficientes para resistência ao fogo dos muros exteriores e da resistência ao fogo para a cobertura, os quais, segundo o próprio método, não podem ser superiores a 120 minutos;
- Fator de fator de ventilação v: no caso dos incêndios em zonas de interface industrial florestal, as aberturas para ventilação nas laterais e na cobertura devem ser devidamente projetadas no sentido de evitar a entrada de partículas incandescentes em queima provenientes do incêndio florestal, de forma a evitar o início e o desenvolvimento do incêndio no interior do edifício, e este fator deve ser ajustado levando tais questões em conta.

## 5. CONCLUSÃO

Para a discussão de novas formas de avaliação do risco a partir de métodos já existentes, como por exemplo o FRAME, faz-se necessário o entendimento das variáveis envolvidas na concepção do método, de forma a propor ajustes sem afetar a sua essência para a aplicação nos edifícios industriais. As propostas apresentadas no presente artigo são preliminares, visando motivar estudos futuros para a quantificação do risco de incêndio utilizando esta abordagem e que seja tratado com o aprofundamento necessário para possibilitar a aplicação deste método a edifícios industriais que possam ser expostos a incêndios com interface florestal.

Os incêndios na zona de interface industrial florestal envolvem questões multidisciplinares, e a avaliação do risco de incêndio acaba, por sua vez, confrontando diferentes áreas do conhecimento, como por exemplo a engenharia florestal, a engenharia hidráulica e engenharia civil, as quais devem ser subsidiadas com uma abordagem técnica e preventivista dos fundamentos da engenharia de segurança contra incêndio, tais como a dinâmica do fogo nos incêndios florestais, do comportamento ao fogo dos materiais de construção utilizados nos edifícios, da gestão da armazenagem dos materiais combustíveis e inflamáveis, do dimensionamento de medidas de proteção contra incêndio capazes de conter riscos sensíveis ao incêndio. Tal abordagem deve considerar ações que possam ajudar na prevenção para evitar o princípio de incêndio, de ações que possam auxiliar na proteção dos edifícios, por meio de medidas de proteção passiva e de proteção ativa contra a ação dos incêndios. Portanto, um caminho possível para subsidiar os ajustes em métodos para avaliação do risco de incêndio existentes e torná-los utilizáveis em situação de incêndio em zona de interface industrial florestal é considerar abordagens que envolvam a simulação computacional de cenários, da realização de ensaios experimentais reproduzindo os casos reais de incêndio nas

zonas de interface industrial florestal, com o foco de obter dados e correlações para ajustar os parâmetros apresentados.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] San-Miguel-Ayanz, J; Durrant, T.; Boca, R.; Libertà, G.; Branco, A. ; De Rigo, D.; Ferrari, D.; Maianti, P.; Vivancos, T.A.; Schulte, E.; Loffler, P. Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2016, Joint Research Centre, European Commission, Luxemburg (2017), p. 120.
- [2] Ribeiro, L.M.; Rodrigues, A.; Lucas, D.; Viegas, D.X. The large fire of Pedrógão Grande (Portugal) and its impact on structures, Imprensa da Universidade de Coimbra, Universidade de Coimbra, 2018, Coimbra.
- [3] Khakzad, N., Modeling wildfire spread in wildland-industrial interfaces using dynamic Bayesian network, Reliability Engineering & System Safety, Volume 189, 2019, Pages 165-176, ISSN 0951-8320.
- [4] Valerio, C.; Gianfilippo, G; Giacomo A., Gigliola, S., Severino, Z., The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis, Journal of Hazardous Materials, Volume 127, Issues 1–3, 2005, Pages 14-30, ISSN 0304-3894.
- [5] Koutsomarkos, V.; Rush, D.; Jomaas, G; Law, A. Comparative analysis of fire indexing methodologies, 2019, Interflam 2019 Conference Paper, Royal Holloway, Egham, UK.
- [6] Shields, T.J., Silcock, G.W.H., Donegan, H.A. et al. Methodological problems associated with the Use of the Delphi technique. Fire Technol 23, 175–185 (1987).
- [7] R.W. Saaty, The analytic hierarchy process—what it is and how it is used, Mathematical Modelling, Volume 9, Issues 3–5, 1987, Pages 161-176, ISSN 0270-0255.
- [8] Dobbernack, R. Fire Risk Assessment Methods. Final Report of Workgroup 6. Fire Risk Evaluation to European Cultural Heritage – FIRETECH, 2003.
- [9] De Smet, E. Handbook for the use of this Fire Risk Assessment Method for Engineering (FRAME), 2nd. Edition, 1999.
- [10] Ferreira, E.; Rodrigues, J.P.C; Coelho, A.L., o método hierárquico na avaliação do risco de incêndio em estações de tratamento de resíduos sólidos urbanos Parte I – apresentação do método, Volume I, pg. 419-418, 2011, Natal/Brasil, 1º Congresso Ibero-Latino-americano em Segurança Contra Incêndios (CILASCI 01), ISBN: 978-989-97210-0-5.
- [11] Ferreira, E.; Rodrigues, J.P.C; Coelho, A.L., O método hierárquico na avaliação do risco de incêndio em estações de tratamento de resíduos sólidos urbanos Parte II – Aplicação do método, Volume I, pg. 429-438, 2011, Natal/Brasil, 2011, Brasil, 1º Congresso Ibero-Latino-americano em Segurança Contra Incêndios (CILASCI 01), ISBN: 978-989-97210-0-5.
- [12] White, N; Delichatsios, M. Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components. Verlag New York: Springer; 2015 ISBN: 978-1-4939-2898-9.

## CARACTERIZAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO RURAL NO DISTRITO DE VILA REAL

**André Rodrigues<sup>1</sup>**

Investigador  
ADAI - Coimbra

**Jorge Raposo**

Investigador  
ADAI - Coimbra

**Johnny Reis**

Investigador  
CESAM - Aveiro

**Miguel Sousa**

Mestrando  
ULP - Porto

**Carlos**

**Hermenegildo**

Professor  
ULP - Porto

### RESUMO

Portugal é um país que, frequentemente, é flagelado por grandes incêndios rurais (IR), que podem destruir bens materiais como podem causar acidentes e mortes a operacionais e a civis. Portugal nunca irá esquecer as fatalidades associadas aos IR nos últimos anos, especialmente o ano de 2017 que vitimou mais de 100 pessoas. Vila Real é um dos distritos com maior recorrência de IR. Neste estudo caracterizou-se o risco de incêndio rural, o tempo de deslocação dos Corpos de Bombeiros (CB) e a prioridade de vigilância para o distrito, com recurso a Sistemas de Informação Geográfica. 61,78% da área do distrito apresenta um risco médio, alto ou muito alto para IR. A maior parte do território em estudo está a mais de 15 minutos dos CB. Como 70% da área do distrito é visível por um ou nenhum posto de vigia, foram identificadas as áreas que necessitam de um reforço de vigilância por outra via.

**Palavras-chave:** Incêndios Rurais; Risco de Incêndio Rural; Gestão de Risco; Prevenção.

### 1. INTRODUÇÃO

Em Portugal, no que respeita aos incêndios rurais tem-se assistido a anos particularmente graves, não apenas pela elevada extensão de área ardida, mas, principalmente, pelos acidentes pessoais registados, alguns deles mortais. Para além da elevada perda de bens materiais tem sido particularmente sentida a perda de vidas humanas. Desde 1931 a 2020, foram registadas 387 vítimas mortais associadas a incêndios rurais [1, 2]. Portugal enfrentou um ano fatídico em 2017, que deixou para sempre mais de 100 vítimas mortais, centenas de feridos e a dor imensa de familiares enlutados. Esta tragédia deve ser lembrada, e impedida de se voltar a repetir, para que Portugal nunca se esqueça desta fatalidade, que enlutou um país e feriu de morte os familiares que ficaram, marcou para sempre os corpos de uns e a memória de todos. Grandes incêndios ficam fortemente marcados na memória das populações, devido à forma extrema e devastadora de propagação do fogo, causando a perda de bens e vidas [3, 4].

O conhecimento do comportamento do fogo é uma ferramenta essencial para o combate e para o aumento da segurança dos operacionais que o executam, bem como para as populações que vivem em áreas de maior risco de incêndio rural. Segundo Viegas *et al.* [5], o comportamento do fogo pode ser classificado como normal ou como extremo. Os acidentes relacionados com incêndios rurais devem-se frequentemente a um conhecimento insuficiente sobre o fogo e o seu comportamento, especialmente no que respeita ao comportamento extremo do fogo [6]. A maioria dos modelos de comportamento baseia-se no pressuposto de que as propriedades de propagação do fogo são quasi-estáticas, podendo ser determinadas considerando três fatores essenciais: topografia; vegetação e meteorologia, a que se chama “triângulo do fogo” [7]. Contudo, Viegas [6] propõe, em alternativa a este conceito clássico, o conceito de “quadrado do fogo”, acrescentando um 4º fator: tempo.

A evolução do poder computacional tem permitido o aparecimento de sistemas e softwares de modelação do fogo desenvolvidos através da investigação científica [8, 9, 10, 11, 12]. A modelação de fenómenos extremos de fogo permite uma melhor compreensão quer seja através de modelos empíricos, semi-empíricos ou físicos [13, 14]. Vários trabalhos de modelação de incêndios rurais têm vindo a ser publicados cientificamente com o intuito de contribuir para um conhecimento mais aprofundado do comportamento do fogo [15, 16, 17, 18]. Todo este poder computacional é essencial para uma melhoria da caracterização do risco de incêndio rural.

Conhecendo-se o risco, pode-se fazer uma melhor gestão do mesmo e garantir uma melhor planificação de recursos e meios. A cartografia de risco de incêndio rural tem um papel fundamental, podendo e devendo ser utilizada como ferramenta de prevenção e planeamento. A cartografia de risco define a melhor localização dos recursos e infraestruturas para a Defesa da Floresta Contra Incêndios (DFCI) e a otimização das medidas necessárias à vigilância da floresta, dando conta das áreas prioritárias que são identificadas com risco de incêndio mais elevado. O cálculo do risco de incêndio envolve variáveis de origem biofísica (ocupação do solo, localização e tipo de material combustível), variáveis fisiográficas (declives e exposições) e variáveis sociais (densidade demográfica e densidade de caminhos).

Através da recolha e tratamento de dados oficiais, com recurso a sistemas de informação geográfica, pretende-se caracterizar o risco de incêndio rural no distrito de Vila Real identificando zonas propícias à propagação de incêndios com grande velocidade e intensidade que se traduzirão em zonas de risco quer para a população em geral quer para os operacionais que combatem os incêndios rurais, os quais devem procurar combater estes incêndios com uma maior atenção para garantirem a sua própria segurança.

## 2. CASO DE ESTUDO

### 2.1. Caracterização Geográfica

Na Nomenclatura de Unidades Territoriais para fins estatísticos (NUT), o distrito de Vila Real situa-se na Região Norte de Portugal (NUT II) e divide-se pelas sub-regiões do Douro, do Alto Tâmega e do Ave (NUT III). Este distrito é limitado a norte por Espanha, a este pelo distrito de Bragança, a sul pelo distrito de Viseu e a oeste pelos distritos do Porto e de Braga.

O distrito de Vila Real apresenta uma área de 4 307 km<sup>2</sup> e é o 11.º maior distrito português. O distrito subdivide-se em catorze municípios: Alijó, Boticas, Chaves, Mesão Frio, Mondim de Basto, Montalegre, Murça, Peso da Régua, Ribeira de Pena, Sabrosa, Santa Marta de Penaguião, Valpaços, Vila Pouca de Aguiar e Vila Real (sede do distrito), conforme é possível observar na Figura 1.

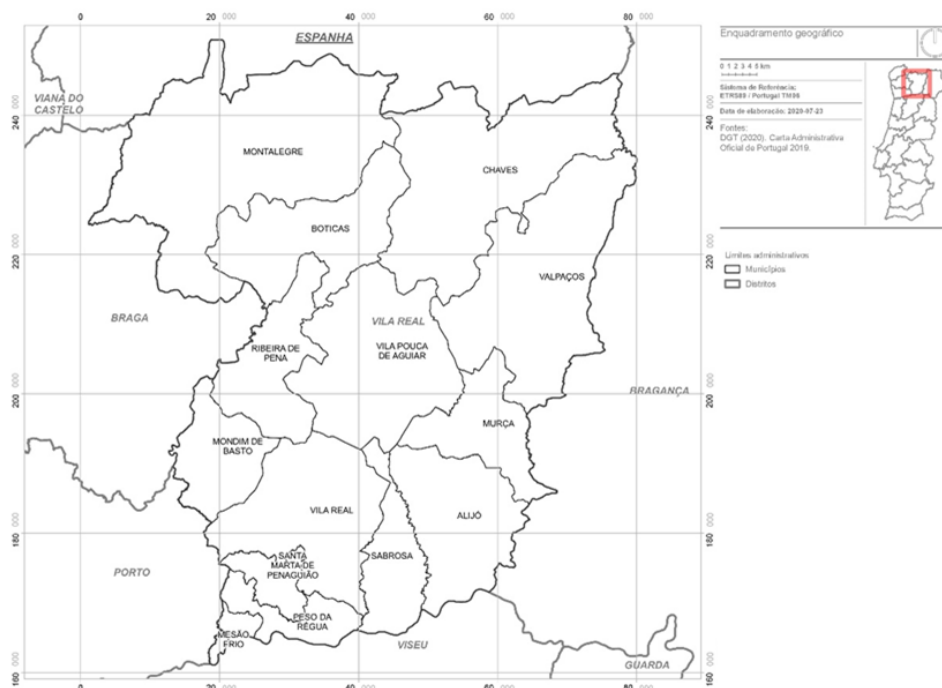


Figura 1: Enquadramento administrativo do distrito de Vila Real.

### 2.2. Caracterização Climática

O conhecimento do clima de uma região é fundamental para o planeamento e gestão das atividades socioeconómicas, e também essencial para mitigar as consequências dos riscos.

Existe uma relação direta entre o clima e a problemática dos incêndios rurais sendo os elementos climáticos de maior interesse a temperatura média do ar, a precipitação, o nível de insolação e a humidade relativa do ar [19]. Nas Figuras 2 e 3 são representados dois tipos de normais climatológicas para Vila Real. A Figura 2 representa o número médio de dias com temperaturas superiores a 30°C, 25°C e 20°C e temperaturas iguais ou inferiores a 0°C.

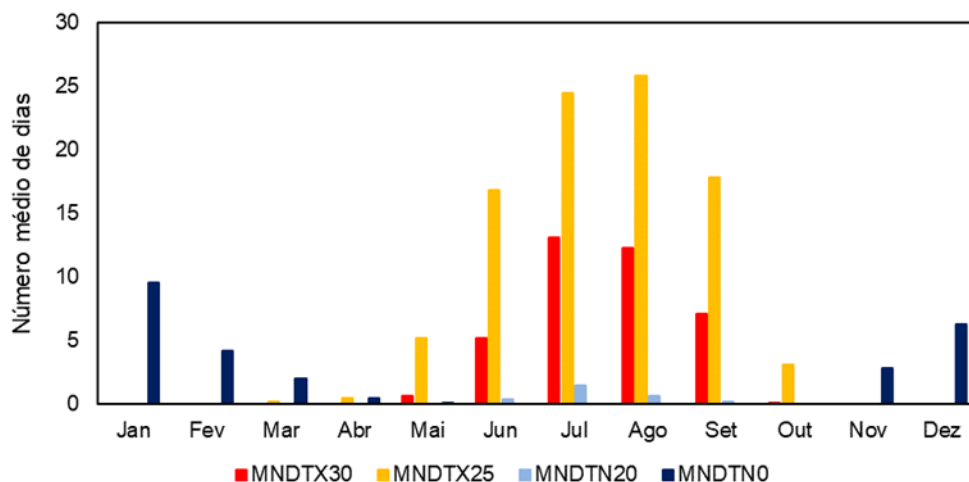


Figura 2: Número médio de dias, com temperaturas superiores a 30°C (MNDTX30), 25°C (MNDTX25), e 20°C (MNDTN20) e temperaturas iguais ou inferiores a 0°C (MNDTN0) [20].

A Figura 3 representa o número médio de dias com precipitação diária superior ou igual a 0,1 mm, 1 mm e 10 mm.

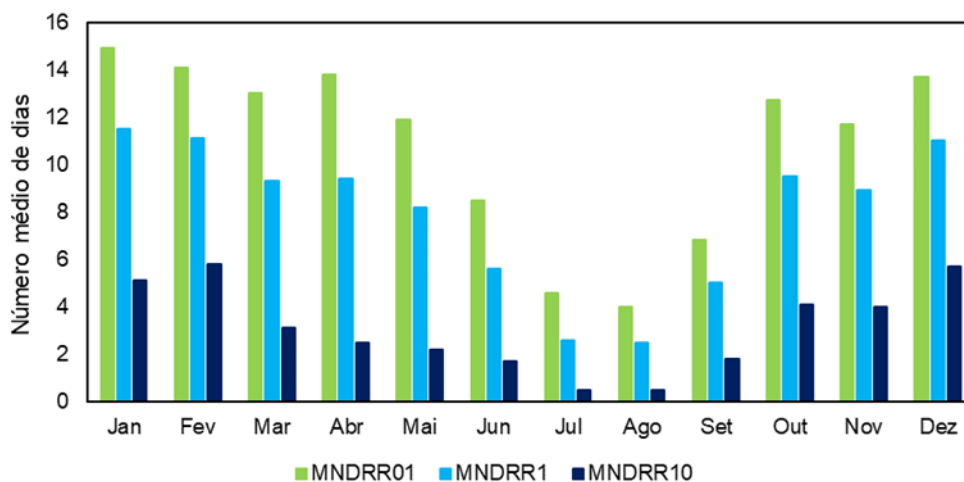


Figura 3: Número médio de dias com precipitação diária superior ou igual a 0,1 mm (MNDRR01), 1 mm (MNDRR1) e 10 mm (MNDRR10) [20].

### 2.3. Relevo e Hidrografia

O distrito de Vila Real é muito montanhoso, atingindo a maior altitude na Serra do Larouco, concelho de Montalegre, a 1525 metros. O distrito de Vila Real é banhado pelo curso inicial do rio Cávado e pelo seu afluente Rabagão. O distrito de Vila Real é ainda atravessado pelos rios Tâmega, Corgo, Pinhão e Tua, afluentes do rio Douro. Na zona

do rio Douro que banha o distrito desenvolveram-se grandes empreendimentos hidroelétricos, como as barragens de Bagaúste e da Valeira [21].

## 2.4. Postos de Vigia

A deteção precoce de um incêndio rural é fundamental para o controlo da propagação do fogo e, consequentemente, do sucesso do combate. Importa, assim, estudar a visibilidade a partir dos postos de vigia da rede nacional que integram o distrito de Vila Real, por forma a encontrar as zonas cobertas e as zonas fora de alcance visual, sendo este um critério que pode contribuir para o potencial risco de incêndio [22].

Na Figura 4 é apresentada a carta de visibilidades onde é possível identificar as áreas de visibilidade a partir dos postos de vigia do distrito de Vila Real. Analisando esta figura é possível constatar que uma grande parte do distrito não é visível a partir de nenhum posto de vigia (PV) ou apenas a partir de um. Importa ainda referir aqui que a construção da carta de visibilidade dos postos de vigia teve por base uma altura média do observador com 1,70 metros (somados à altura da plataforma), uma altura do alvo de 20 metros e um raio de visão de 15000 metros.

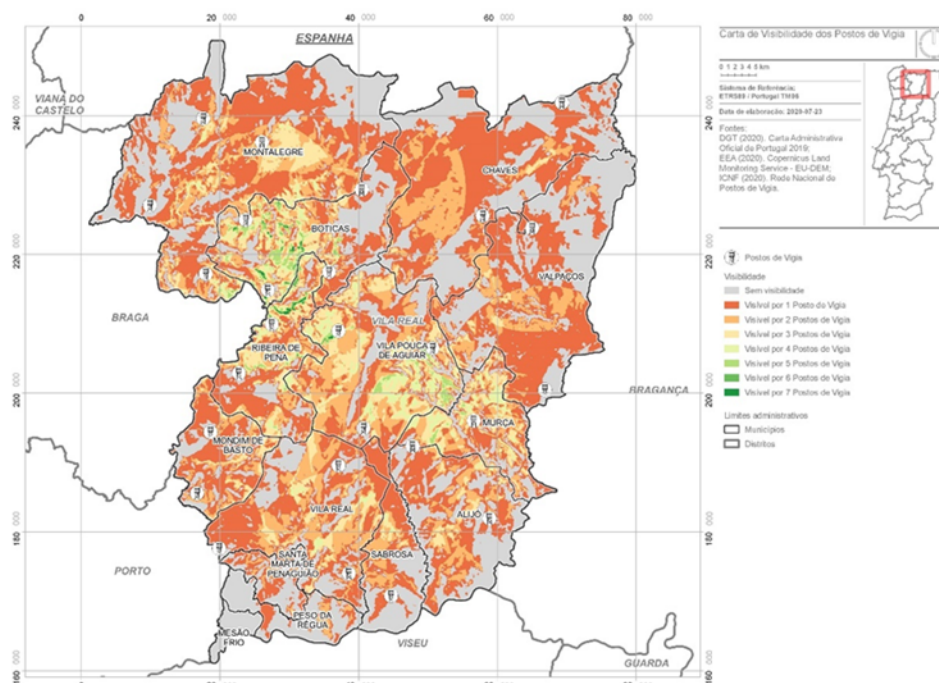


Figura 4: Visibilidade dos postos de vigia do distrito de Vila Real.

No que respeita à visibilidade a partir dos postos de vigia para os usos do solo florestas e matos, apresenta-se a sua distribuição na Figura 5. Analisando esta figura é possível constatar que a maior parte do uso do solo florestal (67,00%) ou do uso do solo correspondente a matos (68,31%), não se encontra visível a partir de nenhum posto de vigia ou apenas a partir de um. No conjunto dos dois usos do solo, 67,55% da área correspondente não é visível por nenhum posto de vigia ou apenas por um dos postos de vigia, sendo que 32,45% é que é visível por dois ou mais postos de vigia. Se se considerar que pelo menos um posto de vigia pode dar uma referência da localização do incêndio, embora não com tanta precisão como dois postos de vigia em conjunto que permitem o cruzamento de dois ângulos no mapa, pode-se afirmar que 69,69% da área do distrito de Vila Real, correspondente a florestas e a matos, se encontra coberta por um ou mais postos de vigia.

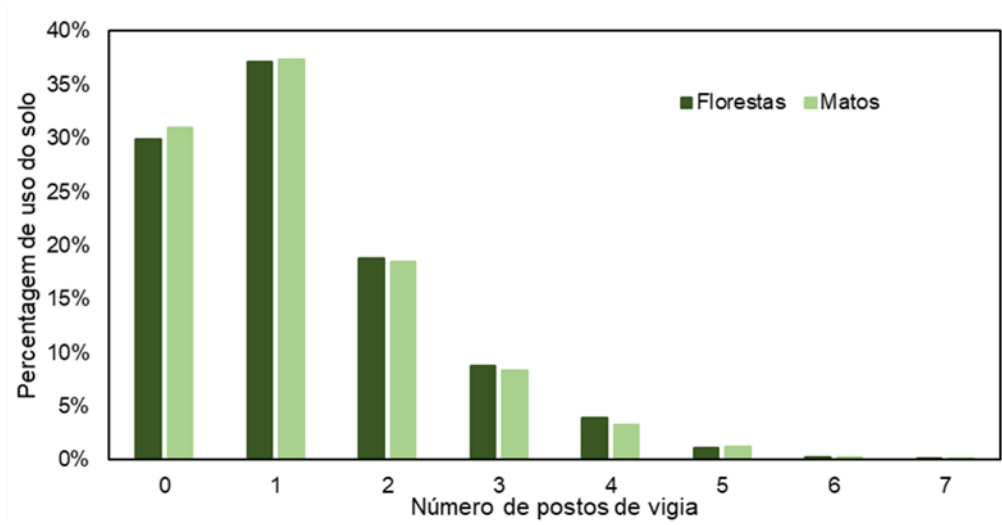


Figura 5: Visibilidade dos postos de vigia do distrito de Vila Real para florestas e matos como usos do solo.

### 3. METODOLOGIA

A cartografia de risco de incêndio rural teve por base o Guia Técnico para elaboração de Planos Municipais de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI) do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) [23].

#### 3.1. Componentes do Risco

No apêndice 4 do Guia Técnico do ICNF supramencionado encontra-se a metodologia para a elaboração da cartografia de risco, por forma a ter uma metodologia completa e adequada às características do risco a tratar, tendo em conta as suas várias vertentes. As componentes do modelo de risco são as apresentadas na Figura 6.

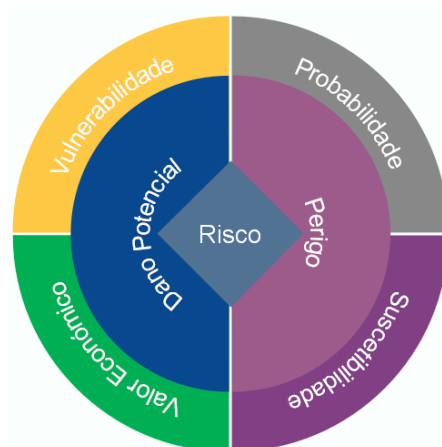


Figura 6: Modelo do risco adaptado de ICNF [23].

#### 3.2. Caracterização das Variáveis em Análise

##### 3.2.1. Áreas Ardidas

O distrito de Vila Real é um dos distritos do país que mais é fustigado pelos incêndios rurais. Na Figura 7 é apresentado o mapa das áreas ardidas do distrito entre 1975 e 2018. Neste período de tempo os incêndios rurais

no distrito consumiram 472152 hectares de floresta e matos, sendo que 51,34% dessa área (242403 hectares) foram consumidos entre 2000 e 2018. Analisando esta figura é possível observar que existem zonas com recorrências de incêndios rurais, especialmente nos concelhos de Alijó, Boticas, Mondim de Basto, Montalegre, Ribeira de Pena, Valpaços, Vila Pouca de Aguiar e Vila Real. O concelho de Montalegre é o que apresenta maior área ardida, sendo que para o período de 1975 a 2018 detém 21,48% da área total ardida no distrito. Na última década, é também o concelho de Montalegre que predomina no que respeita à área ardida, obtendo 23,94% da área total ardida em todo o distrito entre 2010 e 2018. O concelho de Montalegre representa 18,72% da área do distrito de Vila Real.

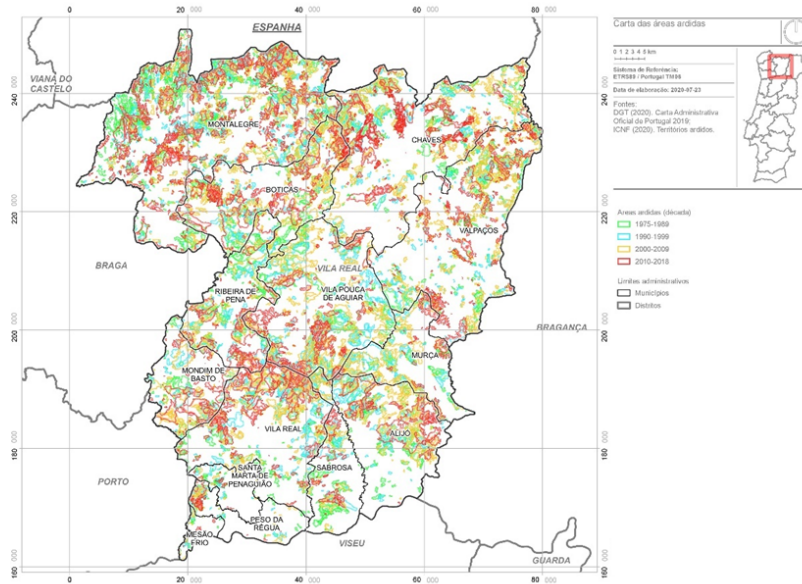


Figura 7: Áreas ardidas do distrito de Vila Real entre 1975 e 2018.

### 3.2.2. Ocupação do Solo

Na Figura 8 é apresentado o mapa da ocupação e uso do solo no distrito de Vila Real com base na Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental (COS) de 2018. Analisando esta figura é possível constatar que existe uma grande variabilidade no uso do solo do distrito, embora seja possível delimitar visualmente alguns conjuntos de ocupação do solo que predominam.

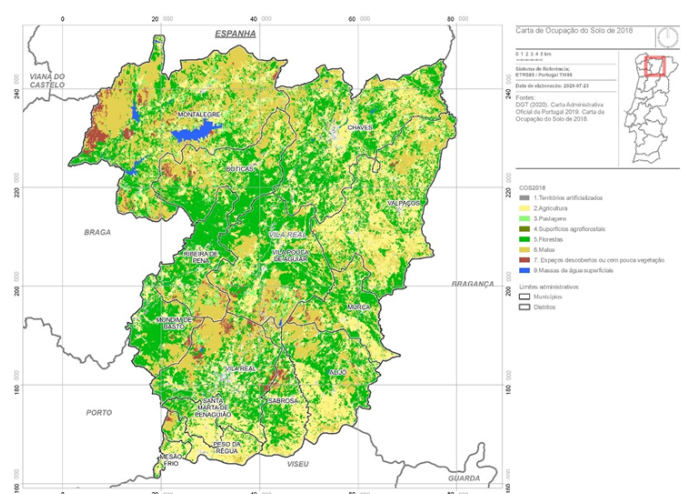


Figura 8: Ocupação e uso do solo do distrito de Vila Real.

O uso do solo que predomina no distrito de Vila Real, ocupando 37,76% do seu território, é o uso florestal. No que respeita à ocupação florestal, predomina o Pinheiro Bravo, com 23,59% de ocupação dos 37,76% do uso florestal. Outras espécies com expressão no distrito são Outros Carvalhos e Outras Folhosas, conforme é possível observar na Figura 9. Analisando esta figura é ainda possível concluir que a Azinheira, as Espécies Invasoras e o Pinheiro Manso são espécies raras no distrito, assumindo valores muito próximos dos 0%.

Outros dois usos do solo com expressão distrital são os matos e as áreas agrícolas, que ocupam 27,51% e 26,00%, respetivamente. A predominância dos matos verifica-se no concelho de Montalegre, embora exista um pouco por todo o distrito, com menos expressão nos concelhos de Mesão Frio e de Santa Marta de Penaguião. As áreas agrícolas (26,00%) predominam no concelho de Valpaços (5,45%), seguindo-se os concelhos de Chaves (4,47%), Alijó (2,54%) e Montalegre (2,53%).

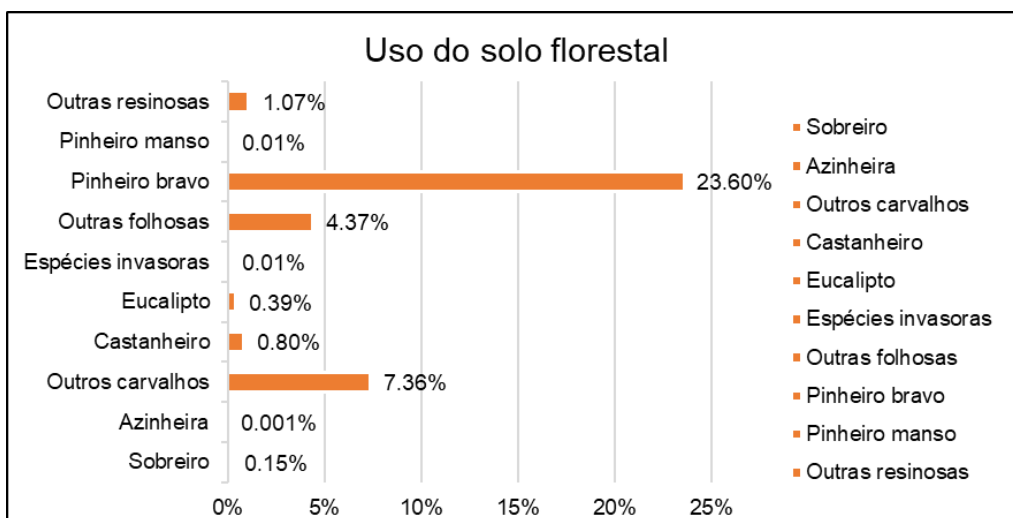


Figura 9: Classes de ocupação do uso do solo florestal em função dos seus 37,76% de representação no distrito de Vila Real [24].

A percentagem de humidade dos combustíveis é um parâmetro muito importante, mas complexo de medir, uma vez que depende muito das condições ambientais: temperatura do ar, humidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação acumulada. O teor de humidade dos combustíveis afeta o pré-aquecimento e a facilidade de ignição dos combustíveis, a velocidade de propagação da frente de chamas, a taxa de libertação de energia pela combustão, a produção de fumo na combustão com e sem chama, o consumo de combustível e a mortalidade das plantas. Torna-se, assim, essencial a medição do teor de humidade do combustível, como vem sendo feito pela Associação para o Desenvolvimento para a Aerodinâmica Industrial (ADAI) no âmbito do projeto MCFire.

### 3.2.3. Declives

A topografia também tem a sua influência no comportamento do fogo. As principais características do relevo que se devem ter em conta são as formas do relevo, a altitude, a presença de linhas de água, a exposição e o declive das encostas. As linhas de água temporárias existentes no encontro de duas encostas formando vales encaixados, com declives acentuados, vão induzir um comportamento completamente distinto do que existiria numa zona plana ou numa encosta com declive suave a moderado com o mesmo tipo de combustível. Nos vales encaixados poderá observar-se um aumento súbito da velocidade de propagação e da intensidade das chamas que poderá originar um episódio de comportamento eruptivo [6].

Analisando a Figura 10, que representa o mapa de declives do distrito de Vila Real, é possível constatar que no distrito existe uma minoria de área com planícies ou planaltos e que predominam áreas com inclinação, atingindo em todos os concelhos declives superiores a 40%. Os declives acentuados podem ser potenciadores de incêndios rurais mais intensos, uma vez que quando o incêndio progride a subir a encosta, a inclinação das chamas é para



Relativamente à densidade da rede viária e dos caminhos florestais (Figura 12), alinha-se com o acima mencionado para a distância euclidiana, sendo nos concelhos de Alijó, Valpaços, Vila Pouca de Aguiar, Vila Real e no noroeste do concelho de Montalegre que se verifica menor densidade. A classe da densidade da rede viária e dos caminhos florestais que predomina no distrito é  $\leq 10$  m/ha, correspondendo a 24,62% da área distrital. A área do distrito em que a densidade de vias é superior a 70 m/ha corresponde a 14,57% da área total.

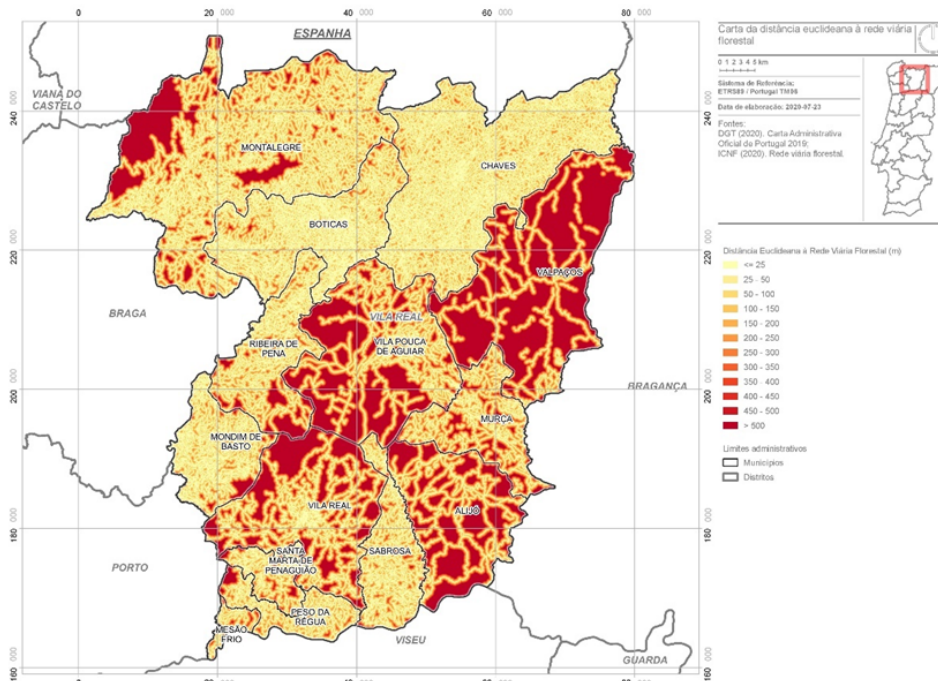


Figura 11: Distância euclidiana à rede viária e caminhos florestais no distrito de Vila Real.

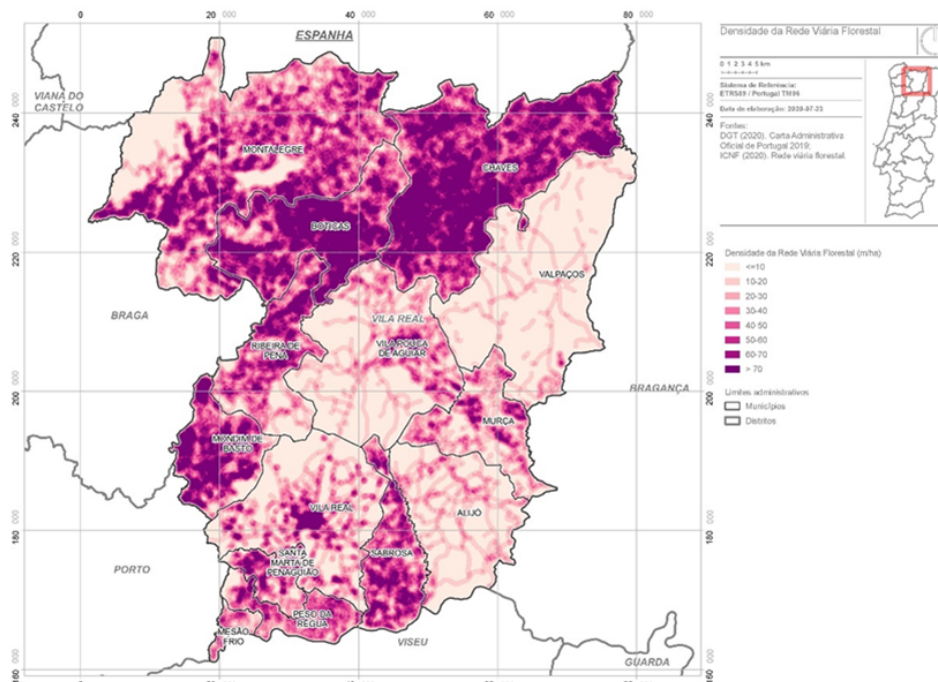


Figura 12: Densidade da rede viária e dos caminhos florestais no distrito de Vila Real.

### 3.2.5. Exposições

A exposição das vertentes tem a sua influência na propagação dos incêndios rurais, por determinar as variações do tempo atmosférico durante o dia. À medida que o sol vai mudando de posição, também a temperatura e a humidade relativa do ar, o teor de humidade dos combustíveis e a direção e velocidade dos ventos locais vai alterando. Por um lado, as encostas expostas a sul e sudoeste apresentam condições meteorológicas e combustível favorável à rápida inflamação e propagação do fogo. Por outro lado, as encostas expostas a norte e nordeste apresentam maior teor de humidade do combustível, ardem mais lentamente e alcançam temperaturas mais baixas [25].

Na Figura 13 apresenta-se o mapa das exposições do distrito de Vila Real. Com base nesta figura é possível afirmar que a orientação predominante é sudeste com cerca de 15,19% (65434 hectares) da área do distrito. No entanto, as diferentes exposições apresentam valores bastante semelhantes, como por exemplo a exposição este que corresponde a 14,87% da área distrital, a exposição sul que assume 13,20% da área total do distrito e a exposição oeste que ocupa 12,78% do território em estudo. As vertentes voltadas a sudoeste têm uma área de ocupação correspondente a 12,01% do território, as exposições a noroeste correspondem a 11,35% da área distrital e as exposições a nordeste e a norte assumem, respetivamente, 10,62% e 9,28% da área total do distrito. As áreas planas são as menos significativas, assumindo 0,70% (3019 hectares) da área distrital.

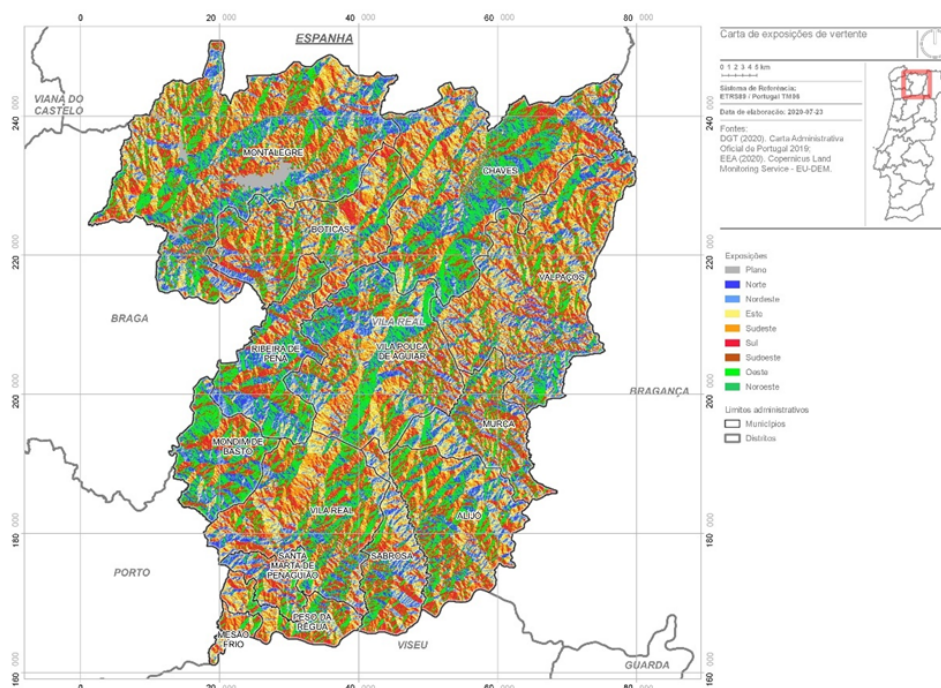


Figura 13: Exposição das vertentes do distrito de Vila Real.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Risco de Incêndio Rural

A elaboração da carta de risco de incêndio rural (Figura 14) para o distrito de Vila Real seguiu a metodologia apresentada no ponto 3. O distrito de Vila Real apresenta-se com uma certa homogeneidade na distribuição do risco pelas cinco classes: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. No entanto, a classe de risco médio é a predominante, representando 22,13% da área total do distrito, um pouco distribuída por todo o território. O risco muito baixo apresenta 18,95% da área distrital (77846 ha), destacando-se, nesta classe de risco, o concelho de Montalegre. O risco baixo (19,27%) tem uma expressão significativa no concelho de Chaves, a norte do concelho de Vila Pouca de Aguiar, a oeste do concelho de Vila Real, em algumas áreas do concelho de Alijó e ao centro do

concelho de Sabrosa. O risco alto de incêndio rural, que representa 80153 ha (19,51%) do total do distrito, destaca-se no centro do concelho de Chaves e a sudeste no concelho de Valpaços. A classe de risco muito alto, representante de 20,13% da área do distrito (82694 ha), tem expressão na área centro-oeste do distrito (concelhos de Boticas, Ribeira de Pena e Vila Pouca de Aguiar) e a sul do distrito (concelhos de Mesão Frio, Santa Marta de Penaguião, Peso da Régua e Sabrosa). É possível verificar que um pouco por todos os concelhos existe manifestação do risco muito alto de incêndio rural. Pode-se afirmar que 39,64% da área do distrito apresenta um risco alto ou muito alto e que a maior parte do distrito (61,78% – 253765 ha) tem, no mínimo, risco médio de incêndio rural.

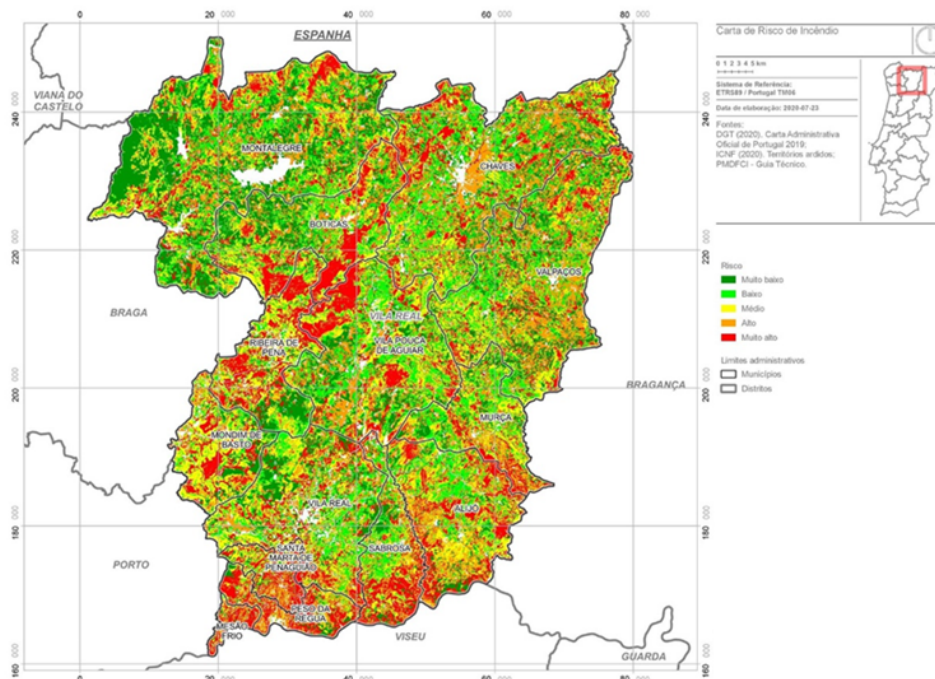


Figura 14: Risco de incêndio rural no distrito de Vila Real.

#### 4.2. Tempo de Deslocação dos Corpos de Bombeiros

O distrito de Vila Real tem ao seu dispor vinte e seis corpos de bombeiros distribuídos pelos catorze concelhos, sendo que o concelho de Alijó possui cinco corpos de bombeiros, o concelho de Chaves tem três corpos de bombeiros, os concelhos de Montalegre, Ribeira de Pena, Sabrosa, Santa Marta de Penaguião, Valpaços e Vila Real possuem 2 corpos de bombeiros cada e os restantes concelhos possuem um corpo de bombeiros.

Uma intervenção rápida é um contributo essencial para a eficácia no combate aos incêndios rurais. Com o intuito de disponibilizar um instrumento de apoio à decisão no que respeita ao planeamento do combate aos incêndios rurais, elaborou-se o mapa apresentado na Figura 15 que diz respeito ao tempo de percurso dos corpos de bombeiros do distrito de Vila Real. Os tempos de percurso foram calculados para a rede viária e caminhos florestais previamente apresentados, assumindo uma velocidade média de 50 km/h em toda a rede, com sentido bidirecional e para um máximo de tempo de viagem de 1h30.

Na análise deste parâmetro consideraram-se cinco classes: 0 a 5 minutos, 5 a 10 minutos, 10 a 15 minutos, 15 a 20 minutos e mais de 20 minutos, sendo que mais do que 20 minutos pode, em muitos casos de incêndios rurais, ser demasiado tempo para a chegada dos primeiros meios terrestres. Como se referiu no capítulo 1 deste trabalho, um incêndio rural tem uma evolução temporal e espacial complexa, embora por vezes pouca importância se dê ao fator tempo, que é um fator fundamental para a evolução do comportamento do fogo. O comportamento do fogo é dinâmico, no sentido de que as características de propagação mudam ao longo do tempo, mesmo com condições de fronteira permanentes. A interação do fogo com o meio ambiente, através das correntes de convecção geradas

pelos próprios fogos que modificam o ambiente envolvente, podem-se sobrepor aos restantes fatores que condicionam a propagação, dando fundamento à dependência explícita do tempo, presente desde o início da propagação. Assim, torna-se fundamental a redução dos tempos de deslocação dos corpos de bombeiros, prevenindo e antecipando dias propícios à ocorrência de incêndios rurais e realizando o pré-posicionamento de meios em locais estratégicos para a diminuição desse tempo de percurso.

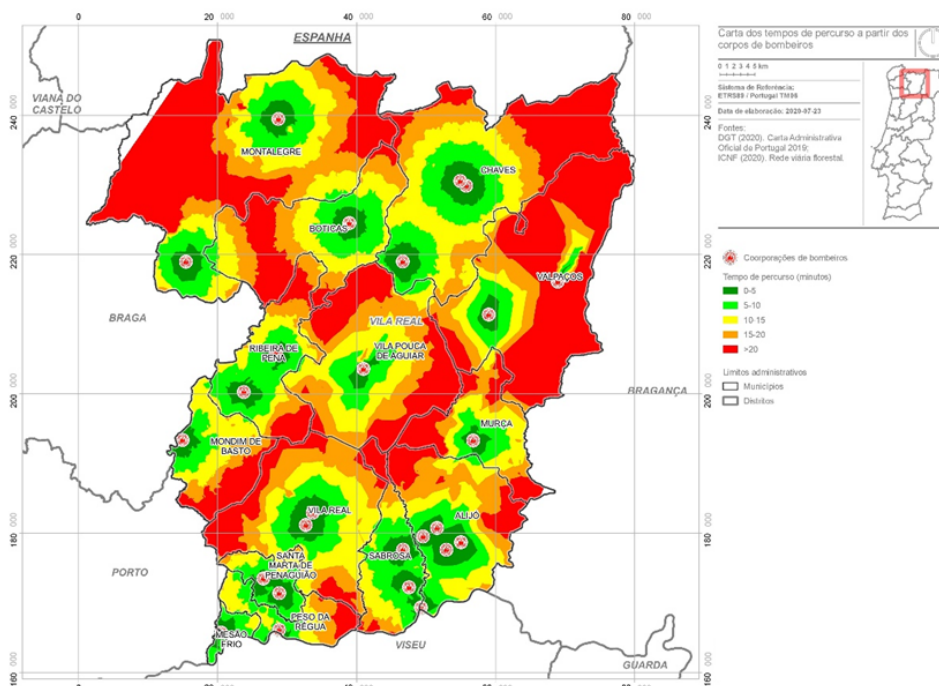


Figura 15: Tempo de percurso a partir dos corpos de bombeiros do distrito de Vila Real.

Analisando a Figura 15 é possível afirmar que a classe de tempo predominante é a superior a 20 minutos, que engloba 33,26% (142450 ha) da área do distrito de Vila Real. Da área total do distrito, 22,47% é alcançada entre 10 a 15 minutos, 19,77% entre 15 a 20 minutos e 17,34% de 5 a 10 minutos, sendo que apenas 7,16% (30645 ha) tem um tempo de percurso inferior a 5 minutos. Importa aqui referir que a maior parte da área distrital (53,03%) tem um tempo de deslocação superior a 15 minutos.

### 4.3. Prioridade de Vigilância

Com o intuito de fornecer mais uma ferramenta de apoio à decisão, desta vez no âmbito da prevenção dos incêndios rurais, através da otimização da vigilância, elaborou-se o mapa que se apresenta na Figura 16. Este mapa representa a prioridade de vigilância no distrito de Vila Real. Como foi referido no ponto 2.6, uma grande parte do distrito não é visível a partir de nenhum posto de vigia (31,70% da área total do distrito) ou apenas a partir de um (38,34% da área distrital). Assim, procedeu-se ao cruzamento do mapa de visibilidades com a carta de risco de incêndio rural, dando origem à proposta de uma carta de prioridades de vigilância do distrito de Vila Real. A análise que aqui é feita permite identificar as zonas que se encontram completamente ocultas ou semiocultas e que sobrepõem com as áreas de risco alto ou de risco muito alto, dando indicação da necessidade de se proceder a uma maior vigilância por outros meios que não a rede de postos de vigia disponível no distrito de Vila Real. No que respeita a outros meios de vigilância, pode-se falar, por exemplo, de uma vigilância por via terrestre, ou de uma vigilância por via aérea com recurso a veículo aéreo não tripulado.

Na Figura 16 podem-se observar as áreas do distrito com risco alto ou com risco muito alto e que não são visíveis por nenhum posto de vigia ou que são visíveis apenas por um posto de vigia. Com base nesta figura é possível afirmar que um pouco por todo o distrito existe inadequada visibilidade a partir da rede de postos de vigia disponível e que, tendo em conta o risco de incêndio rural, é necessário dar especial atenção a esta problemática. Mais uma

vez o pré-posicionamento de meios pode ser uma mais valia, se se fizer a conjugação do pré-posicionamento de meios para combate com a missão da vigilância, colmatando assim esta lacuna da falta de visibilidade adequada que existe um pouco por todo o território em estudo.

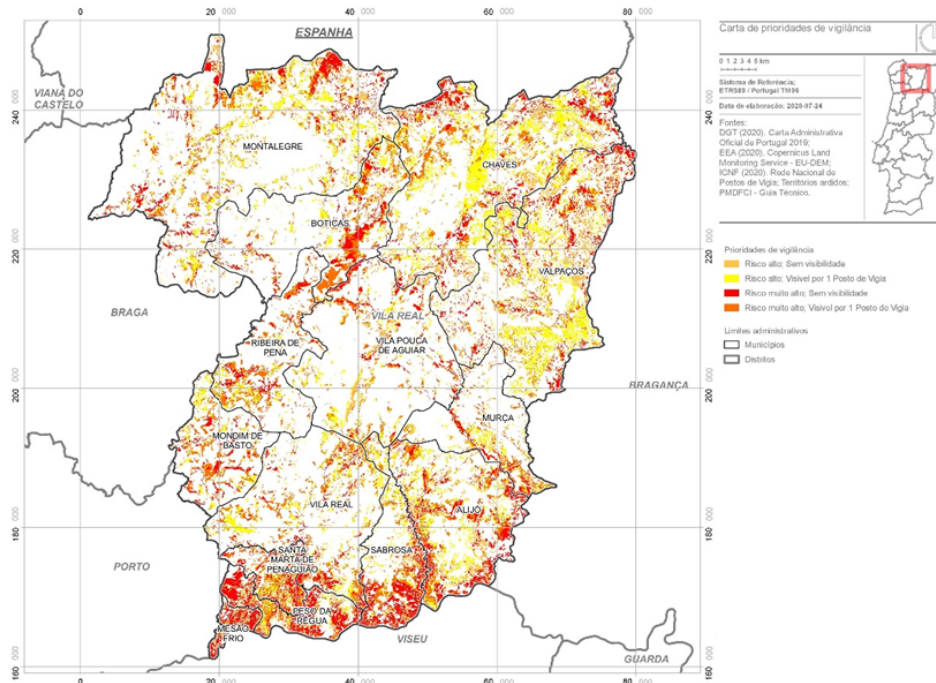


Figura 16: Prioridade de vigilância no distrito de Vila Real.

## 5. CONCLUSÕES

O distrito de Vila Real apresenta, em resultado da análise do risco de incêndio rural, uma predominância de risco médio em 22,13% do seu território. Importa aqui referir que 39,64% da área do distrito apresenta um risco alto ou muito alto e que a maior parte do distrito (61,78%) tem, no mínimo, risco médio de incêndio rural, tornando o distrito de Vila Real suscetível ao risco de incêndio rural, pelo que é necessário tomar medidas no sentido de minimizar esse risco.

O mapa apresentado para a rede viária e os caminhos florestais tem o problema da não ligação/continuidade entre vias na transição dos concelhos. Os dados fornecidos pelo ICNF são provenientes dos PMDFCI que cada município elabora individualmente. No entanto, salienta-se que deveria existir um mecanismo de interligação dos PMDFCI, e de todos os outros planos municipais, para que os concelhos adjacentes tenham informação disponível que seja compatível uma com a outra, quer em termos de rede viária quer também em termos de determinação de um qualquer risco que na divisão entre dois concelhos pode chegar a assumir dois valores completamente diferentes.

No que respeita ao tempo de deslocação a partir dos corpos de bombeiros, verificou-se que existem áreas no distrito que distam mais de 20 minutos dos quartéis, sendo até a classe de tempo predominante com 33,26% da área total do distrito. Importa mencionar que a maior parte do território em estudo (53,03%) dista mais de 15 minutos dos corpos de bombeiros. Assim, torna-se importante o pré-posicionamento de meios para uma primeira intervenção mais precoce nas áreas de maior risco de incêndio, por forma a tornar o combate mais eficaz.

Tendo em conta que uma grande parte do distrito não é visível a partir de nenhum posto de vigia (31,70% da área total do distrito) ou apenas a partir de um (38,34% da área distrital), que sozinho não permite o cruzamento num ponto do mapa para uma localização exata, torna-se essencial o reforço na vigilância existente da rede de postos de vigia. Deve-se, assim, com base na carta de prioridades de vigilância recorrer a outros meios de vigilância (e.g. meios terrestres ou por via aérea com recurso a veículo aéreo não tripulado). O pré-posicionamento de meios que diminuiu o tempo de deslocação a partir dos corpos de bombeiros, pode também servir para reforçar a vigilância

e colmatar a deficiente visibilidade da rede de postos de vigia, sobretudo nas áreas com maior risco de incêndio rural.

É do conhecimento comum que Portugal tem um problema estrutural de ordenamento do território, que se tem constituído como uma grande ameaça à segurança das pessoas e dos seus bens aquando da ocorrência dos grandes incêndios rurais. Os acontecimentos de junho e de outubro de 2017 originaram uma reforma sistémica na prevenção e no combate aos incêndios rurais. Devido à sua complexidade, o seu estudo e gestão exigem o envolvimento de múltiplas instituições e entidades, numa abordagem multidisciplinar do problema. Assim, pode-se afirmar que existe ainda um caminho longo, que já se começou a percorrer, mas que ainda tem muito caminho para andar. De um modo geral, este caminho que ainda há para percorrer diz respeito ao ordenamento e à gestão florestal, à melhor articulação entre as entidades (por meio de objetivos e planos comuns) e à disseminação do conhecimento por todas as entidades operacionais. O envolvimento dos cidadãos é essencial, pois é muito importante a consciência coletiva de que a proteção e a segurança são da responsabilidade de todos e para todos. Tornar as comunidades mais resilientes é importante para que os cidadãos possam autoprotoger-se em situações de exceção como aquelas que se viveram no ano de 2017.

### AGRADECIMENTOS

O primeiro e o segundo autores agradecem à Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI) do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC) e à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pela Bolsa de Doutoramento com a referência SFRH/BD/138235/2018 e pelo Projeto MCFire (PCIF/MPG/0108/2017) que permitiram a realização deste trabalho.

O terceiro autor agradece à FCT/MCTES pelo apoio financeiro ao CESAM (UIDP/50017/2020+UIDB/50017/2020) através de fundos nacionais

O quarto e quinto autores agradecem à Faculdade de Ciências Naturais, Engenharias e Tecnologias da Universidade Lusófona do Porto.

Os autores manifestam um agradecimento a todos os que forneceram dados, tornando este trabalho possível.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CEIF/ADAI, 2020, *Wildfire related fatalities database* (unpublished).
- [2] Molina-Terrén, D.M.; Xanthopoulos, G.; Diakakis, M.; Ribeiro, L.M.; Caballero, D.; Delogu, G.M.; Viegas, D.X.; Silva, C.A. and Cardil, A. *Analysis of forest fire fatalities in Southern Europe: Spain, Portugal, Greece and Sardinia (Italy)*. International Journal of Wildland Fire 2019, 28(2), 85. <http://doi.org/10.1071/WF18004>.
- [3] Viegas, D.X.; Almeida, M.F.; Ribeiro, L.M.; Raposo, J.; Viegas, M.T.; Oliveira, R.; Alves, D.; Pinto, C.; Jorge, H.; Rodrigues, A.; Lucas, D.; Lopes, S.; Silva, L.F. *O Complexo de Incêndios de Pedrógão Grande e Concelhos Limítrofes, Iniciado a 17 de Junho de 2017*; Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (CEIF/ADAI/LAETA): Coimbra, Portugal, 2017.
- [4] Viegas, D.X.; Almeida, M.F.; Ribeiro, L.M.; Raposo, J.; Viegas, M.T.; Oliveira, R.; Alves, D.; Pinto, C.; Rodrigues, A.; Ribeiro, C.; Lopes, S.; Jorge, H.; Viegas, C.X. *Análise dos Incêndios Florestais Ocorridos a 15 de Outubro de 2017*; Centro de Estudos Sobre Incêndios Florestais (CEIF/ADAI/LAETA): Coimbra, Portugal, 2019.
- [5] Viegas, D.X.; Rossa, C.; Ribeiro, L.M. *Incêndios Florestais*. (DX Viegas, Ed.). Verlag Dashöfer Edições profissionais Unip., Lda.: Lisboa. 2011.
- [6] Viegas, D.X. *Parametric study of an eruptive fire behaviour model*. International Journal of Wildland Fire 2006, 15, 169. doi:10.1071/WF05050.
- [7] Byram, G. M. (1959). *Combustion of Forest Fuels*. In K. P. Davis (Ed.), *Forest Fire: Control and Use* (pp. 61-89). New York: McGraw-Hill, 1959.
- [8] Finney, M.A. FARSITE: *Fire Area Simulator—Model Development and Evaluation*. Res. Pap. RMRS-RP-4, 2004, Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2004.
- [9] Mcferren G.; Frost, P. *The Southern African Advanced Fire Information System*. In Proceedings of the 6th International ISCRAM Conference, Gothenburg, Sweden, May 2009.
- [10] Sharples, J.J.; McRae, R.H.D.; Wilkes, S.R. *Wind-terrain effects on the propagation of wildfires in rugged terrain: Fire channelling*. International Journal of Wildland Fire 2012, 21, 282–296. doi:10.1071/WF10055.

- [11] Altintas, I.; Block, J.; De Callafon, R.; Crawl, D.; Cowart, C.; Gupta, A.; Nguyen, M.; Braun, H.W.; Schulze, J.; Gollner, M.; Trouve, A.; Smarr, L. *Towards an integrated cyberinfrastructure for scalable data-driven monitoring, dynamic prediction and resilience of wildfires*. *Procedia Computer Science* 2015, 51, 1633–1642. doi:10.1016/j.procs.2015.05.296.
- [12] Kalabokidis, K.; Ager, A.; Finney, M.; Athanasis, N.; Palaiologou, P.; Vasilakos, C. *AEGIS: A wildfire prevention and management information system*. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 2016, 16, 643–661. doi:10.5194/nhess-16-643-2016.
- [13] Sullivan, A.L. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 1: *Physical and quasi-physical models*. *International Journal of Wildland Fire* 2009, 18, 349–368.
- [14] Sullivan, A.L., Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 3: *Simulation and mathematical analogue models*. *International Journal of Wildland Fire* 2009, 18, 387. doi:10.1071/WF06144.
- [15] Weber, R.O. *Toward a Comprehensive Wildlife Spread Model*. *International Journal of Wildland Fire* 1991, 1, 245–248.
- [16] Santoni, P.A.; Balbi, J.H.; Dupuy, J.L. *Dynamic modelling of upslope fire growth*. *International Journal of Wildland Fire* 1999, 9, 285–292.
- [17] Morvan, D.; Hoffman, C.; Rego, F.; Mell, W.E. *Numerical Simulation of the Interaction Between Two Fire Fronts in the Context of Suppression Fire Operations*. In 8th Symposium on Fire and Forest Meteorology, Kalispell, Montana, USA, 13-15 October 2009.
- [18] Lopes, A.M.G.; Ribeiro, L.M.; Viegas, D.X.; Raposo, J.R. *Simulation of forest fire spread using a two-way coupling algorithm and its application to a real wildfire*. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 2019, 193, 103967. doi:10.1016/J.JWEIA.2019.103967.
- [19] Almeida, R.; Caridade; Redinha, J.; Grilo, F.M.; António, R.; Castro, M.; Vinagre, P.; Pinheiro, D.; Guerreiro, J.; Sousa, C.; Mendonça, M. *Relatório do Projecto Piloto de Produção de Cartografia de Risco de Incêndio Florestal*, Centro Nacional de Informação Geográfica, 60 pp., Lisboa. 1995.
- [20] Instituto Português do Mar e da Atmosfera, *Atlas Climático Ibérico*. Espanha: Agência Estatal de Meteorología, 2000. ISBN: 978-84-7837-079-5.
- [21] Dicionários Porto Editora, Infopédia. Disponível online em: [https://www.infopedia.pt/\\$vila-real](https://www.infopedia.pt/$vila-real) (acedido a 01 de março de 2021).
- [22] Alkhatib, A. *A review on forest fire detection techniques*. *International Journal of Distributed Sensor Networks* 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/597368>.
- [23] Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, *Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios – Guia Técnico*. Disponível online em: <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dpci/Resource/doc/Guia-Tecnico-PMDFCI-AFN-Abril2012-v1.pdf> (acedido a 03 de março de 2021).
- [24] Direção-Geral do Território, *Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental (COS) 2018*. Disponível online em: [http://www.dgterritorio.pt/dados\\_abertos/cos/](http://www.dgterritorio.pt/dados_abertos/cos/) (acedido a 04 de março de 2021).
- [25] Almeida, R.; Caridade; Redinha, J.; Grilo, F.M.; António, R.; Castro, M.; Vinagre, P.; Pinheiro, D.; Guerreiro, J.; Sousa, C.; Mendonça, M. *Relatório do Projecto Piloto de Produção de Cartografia de Risco de Incêndio Florestal*, Centro Nacional de Informação Geográfica, 60 pp., Lisboa. 1995.

## CARACTERIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL - INTERFACE URBANO-FLORESTAL



**Fernando C. T. Gomes<sup>2</sup>**

Investigador

Itecons - Coimbra



**João Paulo C. Rodrigues**

Professor

UC - Coimbra



**Cristina C. Santos**

Professora

IPCB - Castelo Branco

### INTRODUÇÃO

Os materiais mais usados na construção de edifícios, à medida que a sua altura aumenta, evoluíram da madeira para a alvenaria de pedra ou tijolo e, finalmente, nas primeiras décadas do século XX, para o betão armado, com a publicação em 1918 do “Regulamento para o emprego do beton armado” [1].

A fonte de informação mais fidedigna e completa para caracterizar o parque habitacional em Portugal é o Instituto Nacional de Estatística (INE) através dos Censos que se realizam com uma periodicidade de cerca de 10 anos. O último censo foi realizado em 2011 [2].

As estruturas em aço são mais frequentemente usadas em edifícios industriais, sendo ainda residual a sua utilização em edifícios habitacionais. Em 2009 o consumo de aço em Portugal para edifícios industriais foi de 75000 toneladas e para edifícios habitacionais foi de 1600 toneladas ([www.cmm.pt](http://www.cmm.pt)).

### CARACTERIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

#### Caracterização do parque habitacional pela época de construção

---

<sup>2</sup>Autor correspondente - Universidade de Coimbra, Itecons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade, Rua Pedro Hispano, s/n, 3030-289 Coimbra, Portugal.  
email: fernando.gomes@itecons.uc.pt <http://www.itecons.uc.pt>

O número de edifícios habitacionais construídos em Portugal segundo a época de construção são referidos no Quadro 1 e representados graficamente na Figura 1, onde se observa que uma parte significativa dos edifícios é relativamente recente, podendo concluir-se que cerca de dois terços dos edifícios (63%) foram construídos após 1970, de acordo com o Censos 2011 [2, 3].

Quadro 1 - Números de edifícios habitacionais segundo a época de construção

Antes de 1919	1919-1945	1946-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2011
206 343	305 698	387 340	408 831	588 858	578 845	558 471	510 005
6%	9%	11%	12%	17%	16%	16%	14%

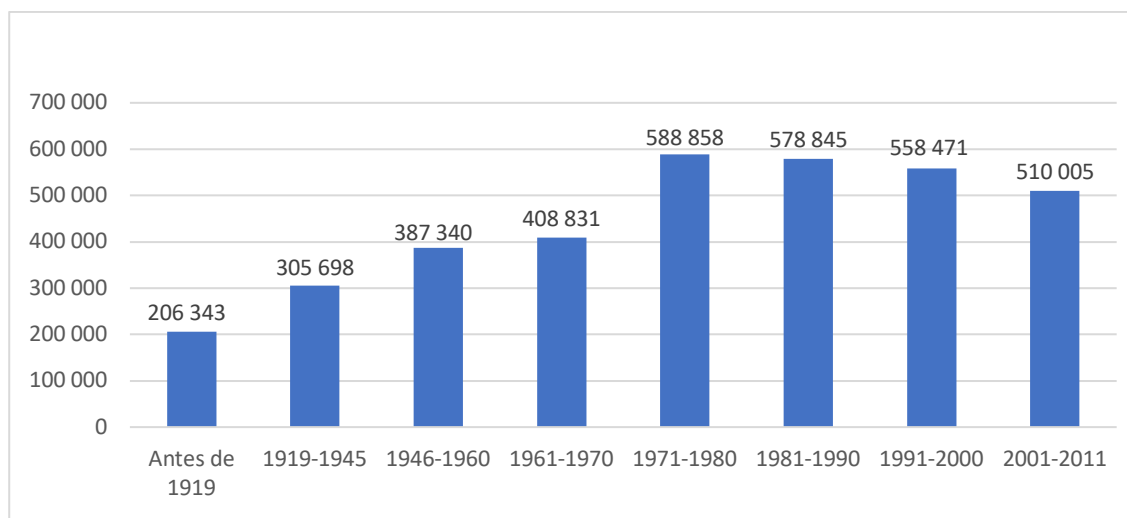


Figura 1 – Número de edifícios segundo a época de construção (Fonte INE, Censos 2011)

O Censos 2011 [2, 3] fornece o índice de envelhecimento do edificado (número de edifícios construídos até 1960 no total de edifícios construídos após 2001) concluindo que os edifícios mais recentes foram construídos na Região da Madeira, no Algarve e nas regiões localizadas em torno da Grande Lisboa e do Grande Porto. Por outro lado, o Alentejo é a região do país onde o índice de envelhecimento é mais elevado.

### Caracterização dos edifícios habitacionais pelo número de pisos

A Figura 2 apresenta o número de edifícios habitacionais em função do número de pisos do edifício [2, 3]. Observa-se que 85% dos edifícios têm um ou dois pisos e apenas 6% têm quatro ou mais pisos. Analisando a distribuição regional, o Censos 2011 permite ainda concluir que os edifícios com um ou dois pisos predominam em todas as regiões do país.

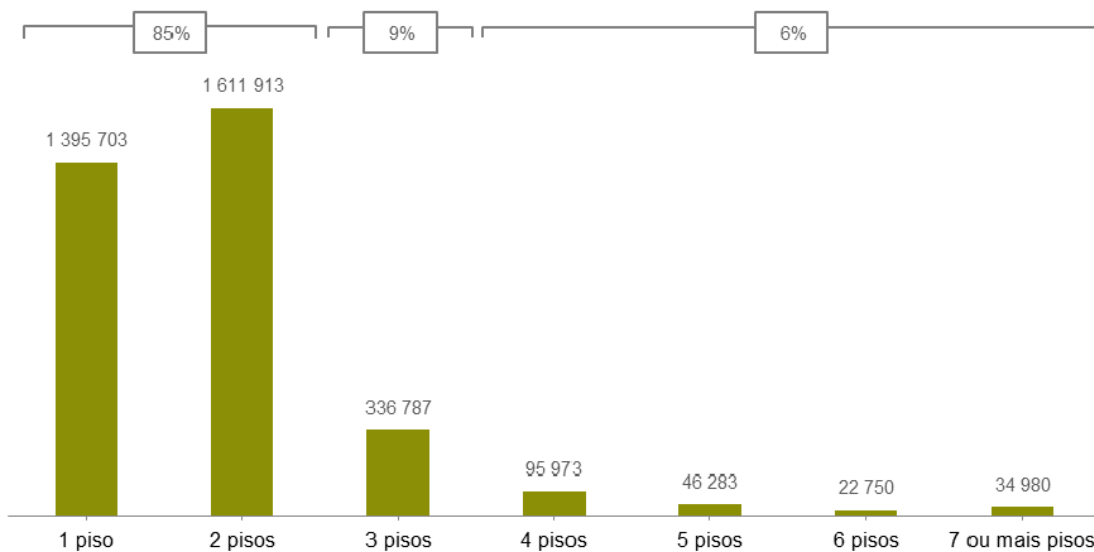


Figura 2 – Caracterização dos edifícios habitacionais pelo número de pisos (Fonte INE, Censos 2011)

### Estrutura dos edifícios habitacionais

A Figura 3 mostra o número de edifícios habitacionais em função do tipo de estrutura, nomeadamente estrutura em betão armado, paredes de alvenaria com “placa”, paredes de alvenaria sem “placa”, paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe e outros [2, 3]. Conclui-se que 80% dos edifícios têm estrutura de betão armado ou paredes de alvenaria com “placa”. Apenas 19% dos edifícios têm paredes de alvenaria sem “placa” ou alvenaria de pedra solta ou de adobe.

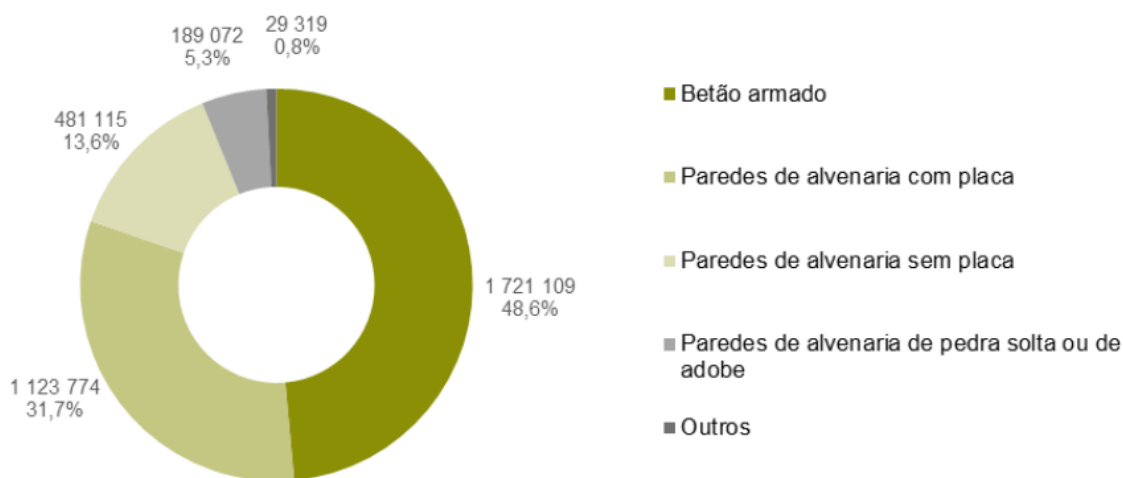


Figura 3 – Caracterização da estrutura dos edifícios habitacionais (Fonte INE, Censos 2011)

Ao longo do tempo nota-se um acentuado aumento da utilização de estruturas de betão armado, como mostra a Figura 4, constatando-se que 97% dos edifícios mais recentes têm estrutura em betão armado ou paredes de alvenaria com “placa”.

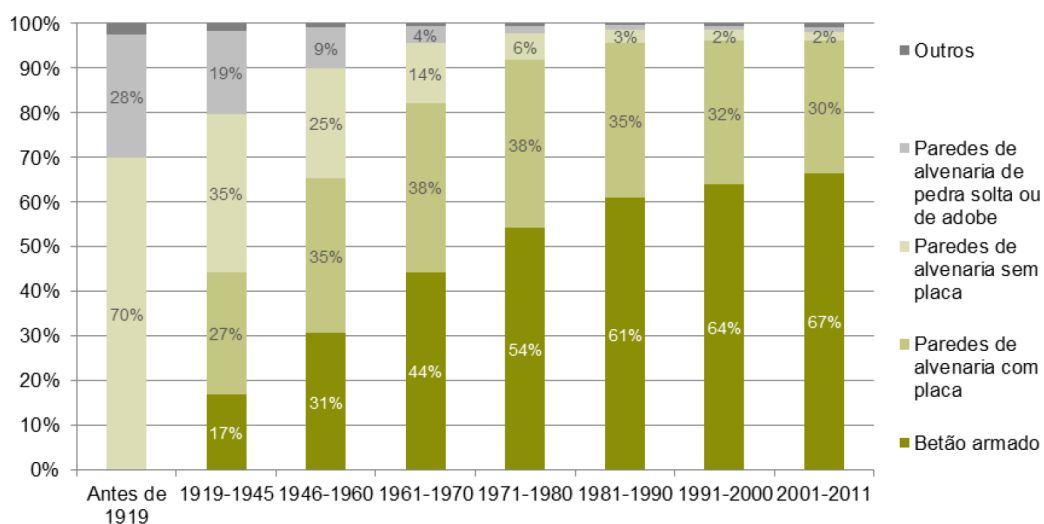


Figura 4 – Evolução da estrutura dos edifícios habitacionais (Fonte INE, Censos 2011)

O Censos 2011 permite analisar a distribuição das estruturas em cada uma das regiões NUTS III do país, Figura 5, revelando uma acentuada variação regional da percentagem de edifícios em betão armado, desde 25% no Alto Alentejo até 76% na Região da Madeira. Mas, se considerarmos o conjunto dos edifícios com estrutura em betão armado e em parede de alvenaria com “placa”, observamos uma menor variação regional: as percentagens deste conjunto de edifícios variam entre 60% no Baixo Alentejo e 89% na Península de Setúbal, como mostra a Figura 5; em regiões com elevado risco de incêndio florestal tais como Beira Interior Norte, Beira Interior Sul, Pinhal Interior Norte e Pinhal Interior Sul, as percentagem do conjunto dos edifícios com estrutura em betão armado e em parede de alvenaria com “placa” são, respetivamente, 78%, 74%, 68% e 72%.

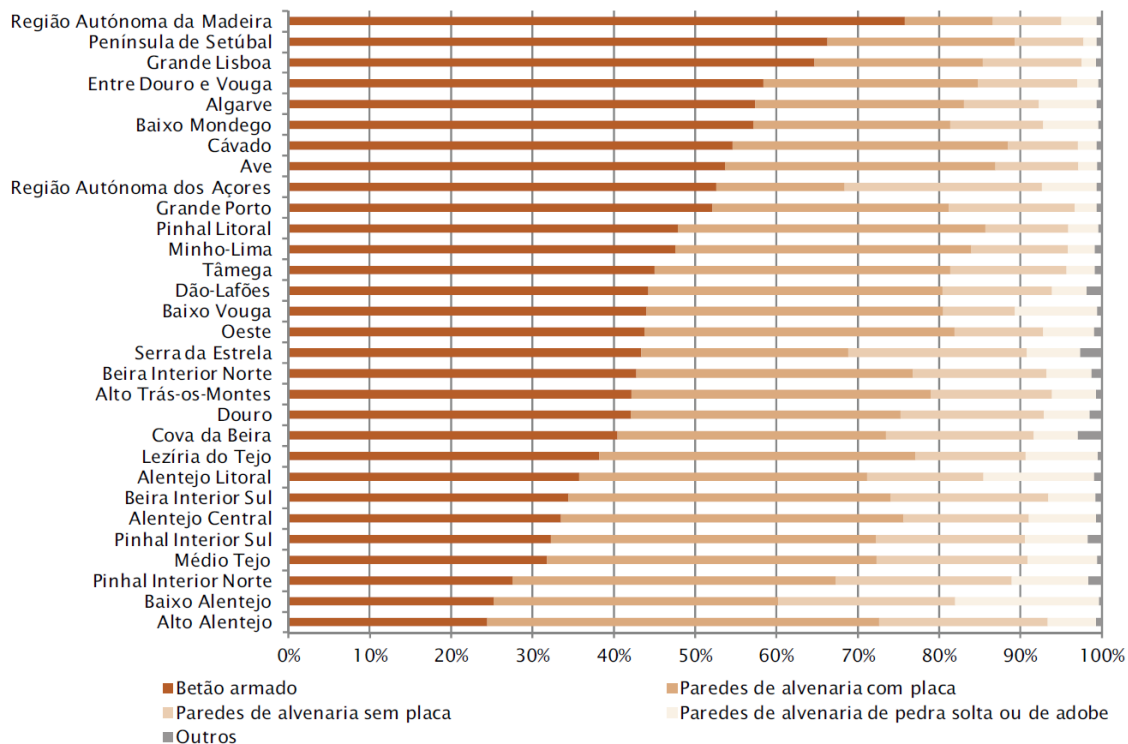


Figura 5 – Distribuição regional das estruturas dos edifícios habitacionais (Fonte INE, Censos 2011)

### Revestimento exterior das paredes dos edifícios habitacionais

Quanto ao revestimento exterior das paredes, 84% dos edifícios tem revestimento em reboco tradicional ou marmorite, 11% tem revestimento em pedra, 4% tem revestimento em ladrilho cerâmico ou mosaico e os outros tipos de revestimento das paredes representam apenas 1% dos edifícios, Figura 6.

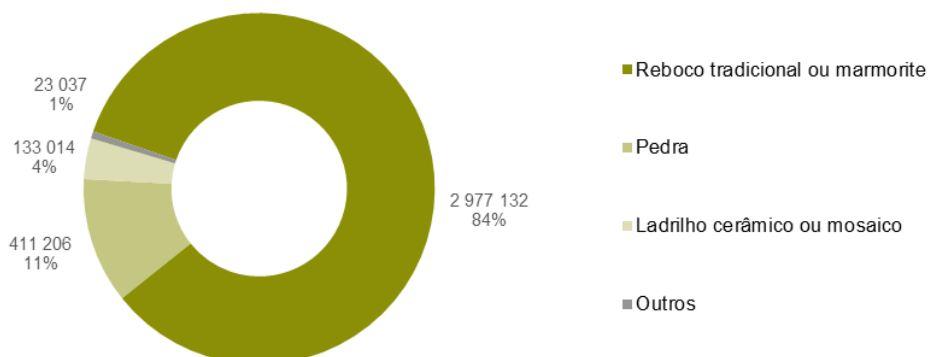


Figura 6 – Revestimento exterior das paredes (Fonte INE, Censos 2011)

### Cobertura dos edifícios habitacionais

O tipo de cobertura dos edifícios habitacionais tem variado ao longo do tempo, como mostra a Figura 7. A cobertura inclinada revestida a telhas tem vindo a ser menos utilizada variando dos 97% antes de 1919 até 88% dos edifícios construídos na última década. Por outro lado, a utilização das coberturas em terraço ou mista (inclinada e terraço) tem vindo a aumentar, sendo superior a 10% nos edifícios de construção mais recente.

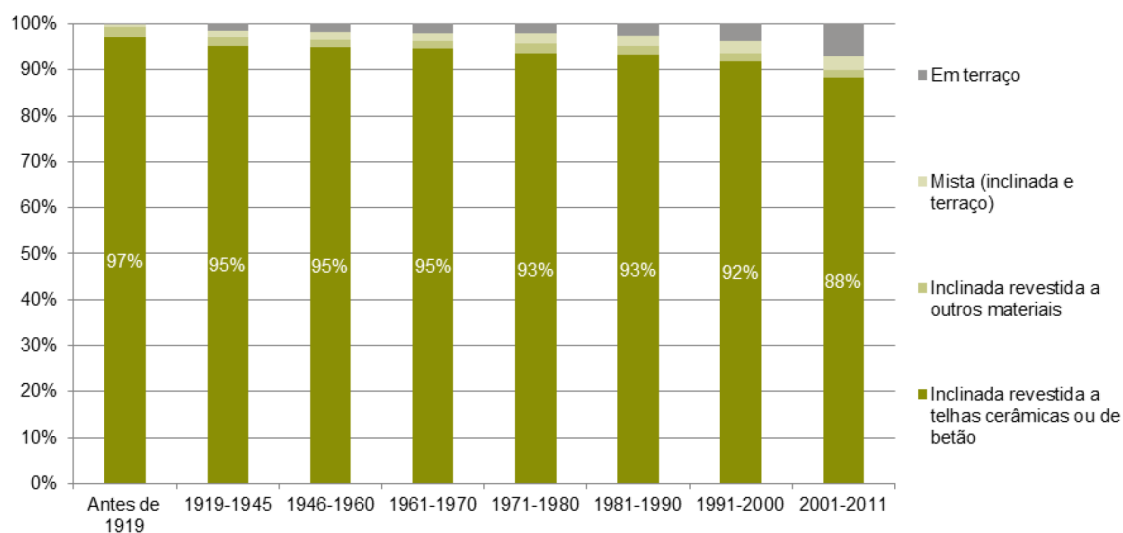


Figura 7 – Evolução da cobertura de edifícios habitacionais (Fonte INE, Censos 2011)

## Estado de conservação dos edifícios habitacionais

A inspeção visual exterior sobre o tipo de reparações necessárias devido à degradação da estrutura, cobertura, paredes e caixilharias exteriores dos edifícios habitacionais revela que a maioria dos edifícios do país não necessita de reparação. Quase um terço dos edifícios necessita de algum tipo de intervenção, de acordo com o Censos 2011, Figura 8.

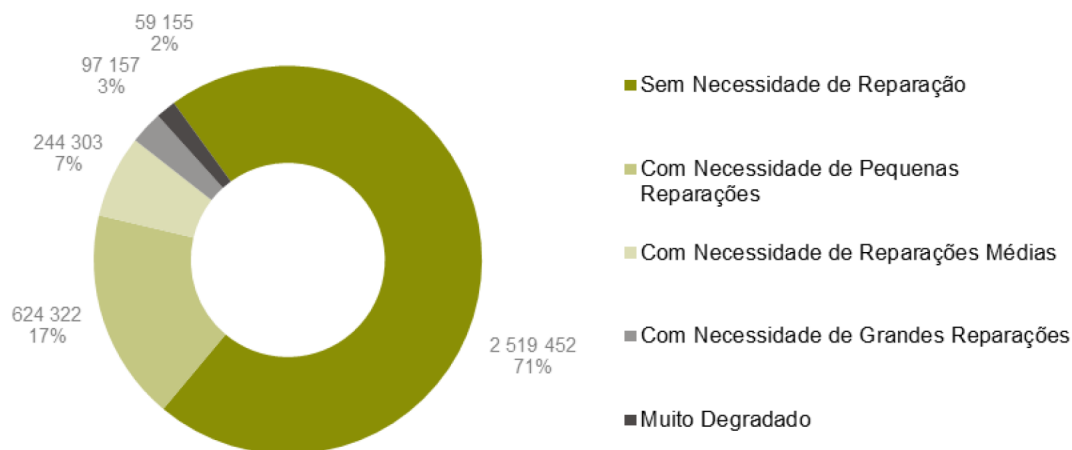


Figura 8 – Estado de conservação dos edifícios habitacionais (Fonte INE, Censos 2011)

## REAÇÃO E RESISTÊNCIA AO FOGO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Nos grandes incêndios ocorridos em Portugal no ano de 2017, o fogo florestal ficou suficientemente perto de várias Interface Urbano-Florestal (IUF) para que as projeções de partículas incandescentes ou as chamas contactassem com as estruturas provocando danos avultados [4]. Os danos nos edifícios dependem da envolvente florestal, no que diz respeito à carga combustível e sua organização, orografia do terreno, condições climáticas, entre outras, mas depende também do tipo de estrutura e seus materiais e dos materiais dos demais elementos construtivos não resistentes, como portas, janelas, telhados, elementos de cerramento de vãos, grelhas de ventilação, tubos de queda de águas pluviais, etc. Por exemplo é do senso comum que janelas e portas de madeira, principalmente de madeiras brandas, ou de PVC podem arder devido a grande incidência da radiação dos incêndios florestais. Todavia se tivermos portas e janelas em alumínio elas não irão arder porque são incombustíveis, mas poderão apresentar grandes distorções que levarão à entrada fácil de faúlhas incandescentes para o interior da habitação. Se tivermos grelhas de ventilação ou tubos de queda em PVC e se estes arderem em situação de incêndio esse será também um ponto de entrada de faúlhas para o interior da habitação. No que diz respeito aos telhados estes podem não constituir um problema se forem em telha cerâmica ou de betão, mas existirá problema se forem em painel de chapa canelada, com revestimento interno em poliuretano. Nas paredes a situação é semelhante não existindo

grande problema se forem em alvenaria de tijolo ou pedra, mas serão um problema se tiverem isolamento térmico pelo exterior (ETICs). No que diz respeito aos materiais estruturais, as casas com estrutura de aço ou de madeira serão bastante vulneráveis aos incêndios, mas o mesmo não se passará no caso de casas de pedra, betão ou mistas de aço e betão.

## **CONCLUSÕES**

O risco de incêndio nas IUF é elevado em muitas regiões do país, provocando avultados danos nas estruturas sobretudo quando não há uma gestão eficiente dos combustíveis na IUF. Neste artigo é feito um aprofundamento do conhecimento referente a Incêndios florestais em áreas de IUF caracterizando, por um lado, os combustíveis florestais e, por outro lado, o tipo de estrutura e seus materiais utilizados nas construções.

## **REFERÊNCIAS**

- [1] Regulamento para o emprego do beton armado, Decreto n.º 4036 de 28 de março, Imprensa Nacional Casa da Moeda, Lisboa, 1918.
- [2] Censos 2011, Recenseamento da População e Habitação, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, 2011.
- [3] Vilhena, A., Pedro, J. B., Sousa e Silva, D., Neves, A. C. e Veloso, B., O Parque Habitacional e a sua Reabilitação. Análise e Evolução 2001-2011, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, 2013.
- [4] ADAI, O Complexo dos Incêndios de Pedrógão Grande e Concelhos Limítrofes iniciados a 17.06.2017, Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais, UC, Coimbra, 2017.

## DANOS EM EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS AFETADOS POR INCÊNDIOS FLORESTAIS

**Rúben F. R. Lopes<sup>3</sup>**

Investigador  
Itecons/UC  
Coimbra

**João Paulo C.**

**Rodrigues**  
Professor  
Itecons/UC  
Coimbra

**António B. Tadeu**

Professor  
Itecons/UC  
Coimbra

**Cristina Calmeiro  
dos Santos**

Professora  
Itecons/IPCB  
Castelo Branco

### SUMÁRIO

Nos últimos anos, o mundo tem observado alguns dos maiores incêndios florestais em termos de dimensão, número de operacionais e meios de socorro necessários no combate, levando, muitas vezes, a perdas patrimoniais e humanas. Os Grandes Incêndios Florestais (GIF) de 2017 em Portugal, pelo seu grau de destruição na floresta, habitações e indústrias e pelo número de vidas que tirou, são exemplos de incêndios florestais de grandes dimensões, similares aos ocorridos nos Estados Unidos da América ou no Canadá. O presente artigo pretende analisar os edifícios industriais danificados pelos GIF de 2017 ao nível das estruturas, materiais usados em fachadas e coberturas e saber a influência que estes tiveram em impedir ou em colaborar na propagação do incêndio florestal. Partindo dessa análise de danos, comparou-se os sistemas construtivos implementados durante a reconstrução com os que existiam à data dos GIF, por forma a verificar se os edifícios industriais ficaram mais resilientes ao risco de incêndio florestal. Verificou-se na reconstrução da maioria dos edifícios industriais a utilização de materiais que demonstraram capacidade reduzida de resistência e reação ao fogo agravada nos GIF de 2017, mantendo assim o risco de sofrerem os mesmos tipos de dano, caso ocorra um incêndio florestal na Interface Industrial-Florestal onde estão inseridos.

**PALAVRAS-CHAVE:** dano; incêndio florestal; recuperação; interface industrial-florestal

---

<sup>3</sup>Autor correspondente – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade, Rua Pedro Hispano, 3030-289 Coimbra, Portugal  
email: ruben.lopes@itecons.uc.pt      <http://www.itecons.uc.pt>

## 1. INTRODUÇÃO

A Interface Industrial-Florestal (IIF) é um dos casos de Interface Urbano-Florestal (IUF), onde as Zonas Industriais se encontram com as Zonas Florestais que as envolvem [1]. A ocorrência de incêndios florestais na IIF pode levar à sua propagação às Zonas Industriais e provocar danos graves no edificado, em matérias-primas e material acabado armazenado ou, no pior dos cenários, à morte de pessoas. A interrupção da laboração de empresas devido à destruição dos edifícios e equipamentos de produção pelos incêndios, leva à perda de rendimento das empresas e, numa situação extrema, à criação de desemprego.

Nos últimos anos, o mundo tem observado alguns dos maiores incêndios florestais em termos de dimensão, número de operacionais e meios de socorro necessários no combate e, por fim, de perdas financeiras e também humanas, além de um forte impacto na Interface Industrial-Florestal. Em 2011 e 2016, os incêndios florestais no estado de Alberta no Canadá [1] entraram na Interface Industrial-Florestal constituída por campos de areias betuminosas, levando à destruição de indústrias de produção de gás e petróleo, resultando em perdas de milhares de milhão de dólares canadianos. Esta paragem deveu-se à evacuação de trabalhadores, à paragem de serviços de transmissão de eletricidade e de gasodutos ou mesmo à destruição de equipamento crucial e estruturas de produção. O Incêndio de Camp [2], que começou a 8 de novembro de 2018 no condado de Butte, estado da Califórnia, nos Estados Unidos da América, destruiu pelo menos 13972 habitações, 528 edifícios comerciais e 4293 estruturas de menores dimensões, tendo também causado 88 vítimas mortais. Este foi classificado como o incêndio mais destruidor e mortífero do estado da Califórnia à data do incêndio. Os Grandes Incêndios Florestais (GIF) de 2017 em Portugal ainda estão muito presentes na memória coletiva dos portugueses, pelo seu grau de destruição e pelo número registado de mortos. Os Incêndios de Pedrogão Grande e Góis [3,4] provocaram 64 vítimas e envolveram em chamas aproximadamente 490 casas e quase 50 indústrias, mas os grandes incêndios de 15 de outubro de 2017 [5,6], fortemente influenciados pelo Furacão *Ophélie*, provocaram um total de 48 mortes e afetaram 521 empresas, com perdas financeiras num total de 275 milhões de euros.

Muitas das zonas industriais instaladas em Portugal estão inseridas na Interface Industrial-Florestal, com forte probabilidade de serem expostas ao risco de incêndio florestal, como aconteceu nos incêndios de Pedrogão Grande e Góis ou nos incêndios de 15 de outubro de 2017. Por isso é necessário um estudo cauteloso das zonas de Interface Industrial-Florestal e do ordenamento territorial das Zonas Industriais, tanto numa perspetiva florestal como numa perspetiva das edificações industriais e da Segurança Contra Incêndios em Edifícios. A presente comunicação pretende elencar os danos nos edifícios industriais provocados pelos GIF de 2017, em Portugal. Por forma a realizar este estudo, foram analisados os relatórios de danos [7,8] dos espaços afetados pelos GIF de 2017, nas seis Zonas Industriais visitadas, no âmbito do Projeto FCT PCIF/MOS/0129/2018 – InduForestFire, na Região Centro de Portugal, com a seguinte distribuição geográfica: quatro zonas inseridas na Comunidade Intermunicipal (CIM) da Região de Coimbra (Pólo Industrial do Freixo – Mortágua, Zona Industrial de Mira, Zona Industrial de Oliveira do Hospital e Zona Industrial da Tocha - Cantanhede), uma inserida na CIM Viseu Dão Lafões (Zona Industrial de Oliveira de Frades) e uma inserida na CIM Região de Leiria (Zona Industrial da Graça – Pedrogão Grande). Só com esta análise dos edifícios industriais danificados foi possível conhecer quais os materiais e tipos de estruturas que foram mais afetados pelos incêndios e, por fim, perceber se as reconstruções realizadas tornaram os edifícios industriais mais resilientes ao risco de incêndio florestal, ou pelo contrário, ficaram ainda mais vulneráveis.

## 2. ANÁLISE DOS DANOS NOS EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS

A análise dos dados aqui reproduzidos teve como suporte as visitas efetuadas e a consulta dos Relatórios de Avaliação de Danos e Prejuízos das indústrias afetadas pelos Grandes Incêndios Florestais de 2017, realizados pelo Itecons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológicos para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade [7,8]. Nas zonas industriais afetadas, foram analisadas um total de 36 indústrias. Esta análise foi realizada em três partes, estruturas, fachadas e coberturas, verificando quais os materiais utilizados e os danos que foram experienciados após a exposição ao incêndio.

## 2.1 Danos nas estruturas

Nos espaços industriais estudados, verificou-se que a maioria dos edifícios tinham estrutura metálica em aço (61,6%) ou em betão armado (30,4%), verificando-se ainda a utilização de estruturas de madeira (4,6 %), mistas de aço e betão (2,6%), ou alvenaria de pedra (1,1%). Na tabela 1 é apresentado com maior detalhe os tipos de estrutura afetados por Zona Industrial (ZI).

Tabela 1: Tipos de Estruturas existente nos espaços afetados

ZI	Metálica (%)	Mista (%)	Betão Armado (%)	Betão pré-fabricado (%)	Alvenaria de Pedra (%)	Madeira (%)
Mortágua	50,0	25,0	25,0	0,0	0,0	0,0
Mira	66,2	0,0	33,8	0,0	0,0	0,0
Oliv. Hospital	50,0	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0
Tocha	70,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0
Oliv. Frades	68,8	2,8	18,8	0,0	0,0	9,7
Graça – Pedrogão Grande	37,5	0,0	52,5	0,0	10,0	0,0
Total	61,6	2,6	30,4	0,0	1,1	4,3

Em relação aos edifícios com estrutura metálica, é possível observar a existência de danos, como deformação e colapso (Figura 1a), que apenas puderam ser resolvidos com remoção dos elementos metálicos afetados, substituindo os mesmos por elementos estruturais novos, durante a reconstrução. A deformação destes elementos deveu-se ao aquecimento não uniforme dos elementos e à extensão térmica que os elementos experienciaram. Quando a extensão térmica e o aquecimento não uniforme se combinaram com a restrição exercida pela restante estrutura do edifício, surgiram fenómenos de encurvadura térmica global e local. Estes efeitos de encurvadura devido ao aquecimento amplificaram os efeitos de encurvadura decorrentes dos processos de fabricação dos elementos metálicos e da aplicação de cargas de serviço e peso próprio. O colapso destes elementos estruturais foi a consequência final dos efeitos de deformação, referidos anteriormente, associados à redução da capacidade resistente mecânica do material. Esta redução foi tanto maior quanto maior foi o aumento de temperatura que o elemento estrutural foi sujeito, deixando de haver capacidade de suportar os esforços mecânicos que a solicitam. Estes fenómenos não foram uma regra para todos os edifícios com este tipo de estrutura, existindo ainda algumas estruturas metálicas que puderam ser reutilizadas, devido a terem sofrido menor exposição ao incêndio.

Quanto a estruturas de elementos de betão armado, verificou-se a existência de *spalling* e fendilhação nas peças de betão (Figura 1b), mantendo alguma capacidade de suporte na maioria dos casos. O *spalling* do betão provocou a redução da secção de betão dos elementos estruturais, ocorrendo desagregação e perda de material, expondo em algumas situações as armaduras de aço ao incêndio. No fim, o *spalling* do betão não foi o principal contribuinte para o colapso de estruturas em betão armado, mas colaborou na perda de capacidade resistente a cargas mecânicas, quando o tempo de exposição ao incêndio foi muito grande. A fissuração do betão deveu-se novamente à expansão térmica dos materiais. A existência de esforços de tração em elementos de betão armado sujeitos a flexão leva, em circunstâncias normais de serviço, à ocorrência de fendilhação devido à fluência dos materiais. Esta fendilhação do betão normalmente é controlada pelos varões longitudinais de aço, devido à sua capacidade resistente em tração ser muito superior à do betão. O aumento da temperatura do elemento levou à ocorrência de fenómenos de expansão térmica e como o aço tem um coeficiente de expansão térmica superior ao do betão, permitiu a abertura de fissuras no betão. Em algumas situações, ocorreu mesmo ao destacamento de pedaços de betão, quando o recobrimento dos varões de aço era baixo. Nos casos mais extremos de exposição ao incêndio ou de concentração de esforços mecânicos, estes elementos colapsaram, quando os varões de aço deixaram de ter capacidade para resistir às solicitações das cargas de serviço e do peso próprio. Nestas situações, foi necessário proceder à demolição.

Os danos verificados em estruturas mistas aço-betão são similares aos danos sofridos por elementos só metálicos ou de betão armado, com deformação e colapso da parte metálica da estrutura e fissuração e *spalling* das peças de betão armado.



Figura 1: Danos em estruturas – a) colapso dos elementos metálicas que faziam suporte da cobertura e deformação dos elementos verticais; b) elementos em betão armado com sinais de *spalling* e fissuração – Fonte: [8]

No caso de edifícios com estrutura de madeira, confirmou-se a combustão completa dos elementos estruturais, ficando só presente a base em betão onde estas estavam instaladas.

Já os edifícios com estrutura em alvenaria de pedra mantiveram a sua capacidade estrutural, apesar da combustão das estruturas de madeira utilizadas para a realização dos pisos e cobertura.

## 2.2 Danos em paredes de fachada

As fachadas desempenharam um papel principal tanto na proteção dos edifícios contra a entrada do incêndio como fazendo exatamente o oposto, criando pontos de entrada do incêndio para o interior dos espaços industriais. Na maioria dos edifícios estudados, as fachadas eram constituídas por panos de alvenaria simples em tijolo cerâmico ou de bloco de betão em toda a altura do edifício (34,8%) ou por pano de alvenaria com uma altura média de 2,0 m pelo interior, sendo a fachada revestida em toda a altura com chapa simples de aço (44,9%). Foi possível observar também a utilização de uma solução de pano de alvenaria com uma altura média de 2,0 m pelo interior, mas que utilizava painéis *sandwich* com núcleo de poliuretano (PUR) para fazer o resto do revestimento em altura no edifício (2,5%). Além das soluções com alvenaria simples, existiam ainda edifícios que usavam apenas chapa perfilada simples de aço na fachada (7,4%) ou tinham as fachadas abertas parcialmente ou na sua totalidade (10,3%). Desta análise excluiu-se os edifícios com estrutura em madeira, visto usarem o mesmo material na fachada. Na tabela 2 é apresentado com maior detalhe os tipos de paredes de fachada existentes por Zona Industrial (ZI).

Tabela 2: Tipo de paredes de fachada existente nos edifícios industriais afetados

ZI	Alvenaria (%)	Alvenaria e Chapa Simples (%)	Alvenaria e Pannel Sandwich PUR (%)	Chapa Simples (%)	Aberta (%)
Mortágua	10,0	50,0	0,0	0,0	40,0
Mira	51,6	31,2	0,0	8,3	8,9
Oliveira do Hospital	75,0	6,3	0,0	8,1	10,6
Tocha	30,0	0,0	70,0	0,0	0,0
Oliveira de Frades	17,5	69,4	1,3	8,8	3,1
Graça – Pedrógão Grande	40,0	25,0	0,0	5,0	30,0
Total	34,8	44,9	2,5	7,4	10,3

Nas paredes de fachada com panos de alvenaria simples, confirmou-se a existência de fissuração e destacamento da furação horizontal em alvenarias com tijolo cerâmico ou *spalling* em alvenarias com bloco de betão (Figura 2a). A fissuração e destacamento dos tijolos ocorreu devido a esforços de tração nos septos internos, provocados pela expansão térmica do material cerâmico. O fenómeno de *spalling* em blocos de betão foi igual ao que aconteceu nas peças de betão armado. Quando não ocorreu o colapso total das alvenarias, houve ainda alguma capacidade de estanquicidade à passagem de gases quentes, chamas e matéria inflamada e isolamento térmico. A maioria

dos casos em que ocorreu o colapso das alvenarias, esse fenômeno está associado ao colapso de elementos estruturais aos quais as alvenarias estavam amarradas.

As fachadas que tinham chapas perfiladas simples em aço sofreram fenômenos de distorção e encurvadura quando estas sofreram extensão térmica devido às elevadas temperaturas desenvolvidas nos incêndios. Como estas chapas estão aparafusadas ao suporte, os parafusos provocam uma restrição à expansão térmica da chapa perfilada, ocorrendo assim a encurvadura entre pontos de fixação. Estes fenômenos levaram à criação de aberturas nas juntas das chapas, permitindo a passagem de gases quentes, chamas e matéria inflamada através destas. Nos casos das fachadas de painel *sandwich* com núcleo em poliuretano, verificou-se que estas permitiram a propagação do incêndio ao longo da fachada, devido à natureza combustível do material de isolamento. O núcleo do painel ficou exposto após o destacamento da chapa exterior do painel (Figura 2b), pelos mesmos fenômenos de distorção e encurvadura que ocorreram nas chapas perfiladas simples.



Figura 2: Danos em paredes de fachada – a) Destacamento e *Spalling* em panos de alvenaria; b) Painéis *sandwich* PUR com distorção e encurvadura após combustão do núcleo – Fonte: [8]

A existência de fachadas abertas em zonas de armazenamento em pilhas ou tapetes de transporte de material permitiram a entrada de gases quentes, chamas e matéria inflamada, permitindo a combustão dos materiais armazenados dos edifícios ou mesmo dos tapetes utilizados.

### 2.3 Danos em Coberturas

Tal como as fachadas, as coberturas desempenharam um papel misto no comportamento do incêndio, em alguns casos garantindo o isolamento térmico e a estanquicidade a passagem de gases quentes, chamas e matéria inflamada e, nos restantes casos, funcionando como ponto de entrada do incêndio no interior dos edifícios industriais. Verificou-se que a maioria dos edifícios afetados tinham cobertura em chapa perfilada de aço simples (78,8%), havendo 8,6% de edifícios com coberturas realizada com painéis *sandwich* com núcleo em poliuretano ou chapa perfilada simples de aço com poliuretano projetado. Havia ainda 12,6% de coberturas realizadas em painéis de fibrocimento, coberturas planas com seixo rolado ou coberturas em telha cerâmica.

Na tabela 3 é reportada a distribuição dos tipos de cobertura existentes nos edifícios afetados por Zona Industrial (ZI).

Tabela 3: Tipo de cobertura existente nos edifícios afetados

ZI	Chapa Simples (%)	Painel Sandwich PUR (%)	Outro Tipo (%)
Mortágua	100,0	0,0	0,0
Mira	81,1	0,0	18,9
Oliveira do Hospital	68,8	0,0	31,3
Tocha	0,0	70,0	30,0
Oliveira de Frades	82,5	15,0	2,5
Graça – Pedrógão Grande	77,5	0,0	22,5
Total	78,8	8,6	12,6

Os danos identificados nas coberturas com chapa perfilada de aço simples são similares aos verificados nas fachadas constituídas pelo mesmo tipo de material, observando-se distorção e encurvadura das mesmas (Figura 3a). Nas coberturas com painéis *sandwich* com núcleo em poliuretano, verificou-se também o destacamento da chapa da face exposta ao incêndio com posterior combustão do núcleo, contribuindo para a propagação do incêndio pelo interior.

Nas coberturas planas com seixo rolado não se verificam quaisquer danos, pela natureza incombustível dos materiais. Verifica-se sim danos em alguns equipamentos instalados nestas coberturas, como máquinas de ar condicionado e isolamento de suas tubagens com sinais de combustão, que poderão ser atribuídos a convecção de gases quentes que existiram durante a passagem do incêndio florestal ou projeção de matéria inflamada. As coberturas com painéis em fibrocimento não contribuíram para a carga de incêndio nem pela entrada dos incêndios nos edifícios, pois não apresentavam sinais de deformação ou encurvadura, mas foram responsáveis pela manutenção da carga térmica existente no interior dos edifícios, levando ao colapso as coberturas (Figura 3b).



Figura 3: Danos em coberturas – a) Distorção e encurvadura de chapas metálicas; b) Cobertura com painéis de fibrocimento colapsada – Fonte: [8]

Para garantir a iluminação natural dos espaços internos durante o período diurno, 75% das coberturas dos edifícios analisados tinham telhas translúcidas em material plástico, como policarbonato. Na tabela 4 apresenta-se em maior detalhe a distribuição da utilização deste tipo de vãos nas diferentes Zonas Industriais (ZI).

Tabela 4: Existência de vãos de iluminação com telhas translúcidas nos edifícios afetados

ZI	Sim (%)	Não (%)
Mortágua	50,0	50,0
Mira	88,9	11,1
Oliveira do Hospital	75,0	25,0
Tocha	100,0	0,0
Oliveira de Frades	75,0	25,0
Graça – Pedrógão Grande	50,0	50,0
Total	75,0	25,0

Verifica-se que a maioria destes vãos foram destruídos durante os incêndios, devido à natureza combustível do material e também à distorção que estes sofreram devido a convecção de gases quentes do incêndio e ao ataque realizado por matéria inflamada. Estes vãos foram também o ponto de entrada de matéria inflamada, provocando a ignição de materiais armazenados no interior.

### 3. RECONSTRUÇÃO DAS ESTRUTURAS AFETADAS

Nas visitas às zonas industriais realizadas, foi possível observar que grande parte dos espaços industriais afetados já foram recuperados ou, quando o grau de dano era muito grande, reconstruídos.

Nos edifícios reconstruídos ou recuperados, continua a verificar-se uma grande utilização de estruturas metálicas (Figura 4a). Nas situações em que as estruturas de betão armado não foram severamente afetadas pelo incêndio, procedeu-se à sua recuperação, tendo nos casos mais graves sido realizada a demolição e reconstrução com os mesmos materiais, ou então a opção por estruturas em betão pré-fabricado (Figura 4b), que eram praticamente inexistentes em construção anterior além da existência de algumas lajes em vigotas pré-esforçadas de betão. Verificou-se apenas a reconstrução de um edifício com estrutura em madeira em todos os casos identificados neste estudo.



Figura 4: Edifícios reconstruídos – a) Estrutura metálica b) Estrutura em betão pré-fabricado

Quanto às paredes de fachada, o uso de chapa perfilada simples de aço é dominante em reparação dos edifícios danificados pelo incêndio (Figura 5a), usualmente em paredes que já usavam este tipo de material. Nos casos em que houve completa destruição das fachadas em chapa perfilada simples de aço, verifica-se uma substituição do elemento de revestimento, com uma grande utilização de painéis *sandwich* com núcleo em poliuretano ou em poliisocianurato (PIR), normalmente associada a uma alvenaria de blocos de betão com uma altura média de dois metros pelo interior, por forma a evitar danos com equipamentos de movimentação de cargas. Houve um caso em que se verificou a utilização de painéis *sandwich* com núcleo em lã de rocha, substituindo uma fachada que tinha anteriormente painéis com núcleo em poliuretano. Além disso, observou-se num edifício com a fachada revestida a tijolo cerâmico danificada pelo incêndio, a utilização de painéis *sandwich* com núcleo em poliuretano por cima do pano de alvenaria reconstruído (Figura 5b).



Figura 5: Fachadas após incêndio – a) Reparação pontual de fachada em chapa simples de aço; b) Instalação de painéis sandwich com PUR em fachada de alvenaria reparadas

Já em coberturas, apenas se observou a utilização de chapa perfilada simples de aço em edifícios que sofreram danos leves. Nos outros casos, verificou-se uma grande utilização de painéis *sandwich* com núcleo em poliuretano ou poliisocianurato em situação de reconstrução. Apesar disso, há alguns casos da utilização de painéis *sandwich* com lâ de rocha ou uma situação mista com lâ de rocha entre duas chapas perfiladas de aço simples. As situações de edifícios com cobertura plana em seixo rolado mantiveram essa solução.

#### 4. CONCLUSÕES

Existe ainda muito a fazer por forma a minimizar o risco de incêndio em zonas industriais localizadas na IIF. A reconstrução com materiais que provaram ter um mau desempenho ao incêndio, ainda que pouco existente à data do incêndio nessas zonas industriais, é um sinal de não reconhecimento do seu comportamento em situação de incêndio nem consideração que estes edifícios estavam inseridos em zonas de Interface Industrial-Florestal. Apesar disso, houve edifícios visitados em que verificou uma preocupação com o reconhecimento deste tipo de risco, observando-se a utilização de materiais com comportamento melhorado em situação de incêndio. É urgente melhorar a legislação de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE) para edifícios industriais com forte inserção na Interface Industrial-Florestal, por forma a que os edifícios inseridos na IIF tenham maior resistência ao fogo e que os materiais utilizados nas envolventes tenham melhor classificação de reação ao fogo, bem como a organização do armazenamento de materiais no exterior.

Enquanto a regulamentação de SCIE não sofre alteração no que diz respeito a estes edifícios, recomenda-se a utilização de materiais de fachada e cobertura com classe de Reação ao Fogo A1 e A2 e Resistência ao Fogo EI60. Além disso, recomenda-se também uma melhor organização dos materiais armazenados no exterior por forma a que os mesmos não fiquem junto às fachadas dos edifícios. Muitas das fachadas afetadas nos GIF de 2017 tinham materiais combustíveis armazenados junto a estas, potenciando os danos registados.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fundação para a Ciência e Tecnologia o financiamento do Projeto PCIF/MOS/0129/2018 "InduForestFire - Metodologias Interdisciplinares para a Protecção de Zonas Industriais a Incêndios Florestais" no âmbito do Concurso de Projetos de Investigação Científica e Desenvolvimento Tecnológico no Âmbito da Prevenção e Combate a Incêndios Florestais – 2018 e à Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro a cedência dos relatórios de avaliação de danos e prejuízos das empresas afetadas pelos GIF de 2017 nas zonas industriais alvo de estudo.

#### REFERÊNCIAS

[1] Johnston, L. M. & Flannigan, M. D. (2018). *Mapping Canadian wildland fire interface areas*. International Journal of Wildland Fire, 27(1), 1. <https://doi.org/10.1071/wf16221>

- [2] Woessner J., Lee J., Gryszan C., LaNier J., Houser I., Morgan T., Kennedy S. Rust B. Nicita, E. Roffers P., McCrea S., Stanish S. (2018), *CAMP FIRE Watershed Emergency Response Team Final Report CA-BTU-016737*, State of California, 175 pp.
- [3] Guerreiro J., Fonseca C., Salgueiro A., Fernandes P., Iglésias E., de Neufville R., Mateus F., Ribau M., Silva J., Moura J., Rego F. e Caldeira D. (2017). *Relatório Análise e apuramento dos factos relativos aos incêndios que ocorreram em Pedrogão Grande, Castanheira de Pera, Ansião, Alvaiázere, Figueiró dos Vinhos, Arganil, Góis, Penela, Pampilhosa da Serra, Oleiros e Sertã, entre 17 e 24 de junho de 2017*. CTI, Assembleia da República, Lisboa, Portugal 297 pp.
- [4] Viegas, D. (2017), *O complexo de incêndios de Pedrogão Grande e concelhos limítrofes, iniciado a 17 de junho de 2017*. CEIF, Universidade de Coimbra, 238 pp.
- [5] Guerreiro J., Fonseca C., Salgueiro A., Fernandes P., Iglésias E., de Neufville R., Mateus F., Ribau M., Silva J., Moura J., Rego F. e Caldeira D. (2018). *Relatório Avaliação dos incêndios ocorridos entre 14 e 16 de outubro de 2017 em Portugal Continental* CTI, Assembleia da República, Lisboa, Portugal, 274 pp.
- [6] Viegas, D. (2019), *Análise dos Incêndios Florestais Ocorridos a 15 de outubro de 2017*. CEIF, Universidade de Coimbra, 260 pp.
- [7] Itecons. (2018). *Avaliação de danos e prejuízos na sequência dos incêndios com início a 17 de junho*. In Relatório de Consultoria Técnica - Universidade de Coimbra.
- [8] Itecons. (2018). *Avaliação de danos e prejuízos na sequência dos incêndios ocorridos no dia 15 de outubro de 2017*. In Relatório de Consultoria Té

# ANÁLISE COMPARATIVA DA APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO

**Bernardete de  
Lourdes Ferreira  
Minervino<sup>4</sup>**  
Doutoranda  
UC - Coimbra

**Cristina Calmeiro  
dos Santos**  
Professora Adjunta  
Instituto Politécnico  
de Castelo Branco

**João Paulo Correia  
Rodrigues**  
Professor  
UC - Coimbra

**Paulo Gustavo von  
Krüger**  
Professor  
UFMG – Belo  
Horizonte/BR

## SUMÁRIO

Análise da aplicação dos métodos de avaliação de risco de incêndio Gretener, FRAME e MARIEE ao edifício sede do Ministério da Infraestrutura e Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, situado na zona central de Brasília, na Esplanada dos Ministérios, bloco R, edificação tombada pelo patrimônio histórico nacional. A comparação dos resultados busca avaliar se a aplicação dos métodos é eficiente à realidade arquitetônica e de segurança contra incêndio no Brasil.

**PALAVRAS CHAVE:** Análise de Risco; Incêndio.

## 1. INTRODUÇÃO

As metodologias atualmente empregadas em análise de risco de incêndio incluem diversos instrumentos desenvolvidos para medir, de forma determinística ou por desempenho, o quanto uma edificação está exposta à probabilidade de uma ocorrência deste tipo, ou até mesmo as consequências caso o incêndio venha a ocorrer. A aplicação destes métodos permite um planejamento de investimento em instalação e manutenção dos sistemas de proteção contra incêndio de acordo com o quanto e como se quer proteger uma edificação. No entanto, a grande variedade de métodos disponíveis pode levar a resultados diferentes, dependendo da quantidade e qualidade das informações utilizadas e, até mesmo, da experiência do avaliador. O que levanta uma pergunta: se estas diferenças são significativas para determinar o grau de risco de incêndio de uma edificação ou se comprometem as conclusões sobre a segurança.

## 2. DESENVOLVIMENTO

O presente estudo utilizou três métodos de avaliação de risco de incêndio, aplicando-os a uma mesma edificação de valor histórico, tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN.

---

<sup>4</sup> Bernardete de Lourdes Ferreira Minervino – Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil. Coimbra/Portugal.  
e-mail: guivnevere@gmail.com / bel@minervino.net

## 2.1. Contextualização

A cidade de Brasília foi fundada em 1960, tendo sido construída em quatro anos para abrigar a nova capital do Brasil. O complexo urbanístico da zona central da cidade foi projetado pelo urbanista Lúcio Costa e os edifícios que compõem o projeto foram criados pelo arquiteto Oscar Niemeyer. A edificação estudada se localiza no Bloco R da Esplanada dos Ministérios, onde, atualmente, estão instalados o Ministério da Infraestrutura e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.

Na época do projeto e da construção da edificação, no final da década de 1950, ainda não havia legislação de segurança contra incêndio no Brasil. A legislação mais antiga é o Decreto nº 116, de 12 de setembro de 1961<sup>[1]</sup>, que previa apenas que deveria ser apresentado um projeto de instalação contra incêndio e que a administração ouviria o corpo de bombeiros com relação a tal projeto, mas sem nenhuma previsão sobre a exigências de sistemas ou a eficiência dos mesmos. Sendo assim, não foram projetados, inicialmente, sistemas de prevenção ou combate a incêndio para este edifício. Por este motivo, a edificação precisou passar por adaptações ao longo dos anos seguintes, por exigência do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – CBMDF, entidade governamental responsável pela regulamentação e fiscalização da segurança contra incêndio local.

Ao longo dos últimos 60 anos, algumas medidas de segurança foram instaladas na edificação, conforme ilustrado no diagnóstico (item 2.2). No entanto, tais sistemas foram instalados sem um projeto de incêndio completo aprovado pelo CBMDF. Tal projeto já foi elaborado pelos responsáveis pela edificação, tendo sido aprovado pelo CBMDF em 2018, mas ainda não foi executado, por motivo de atraso nas licitações.

A aplicação dos métodos, neste estudo, foi feita com base nos sistemas que, no momento, estão instalados e em funcionamento na edificação. Não levando em conta as características que estão previstas no projeto de incêndio, mas que ainda não foram devidamente executadas.

## 2.2. Diagnóstico da edificação

O diagnóstico foi feito com base no levantamento de informações contantes no projeto de incêndio da edificação<sup>[2]</sup>, em vistoria *in loco*<sup>[3]</sup> e em entrevista com o Coordenador de Infraestrutura Predial do Ministério<sup>[4]</sup>.

- Características da edificação
  - Dimensões dos pavimentos: 102,50 x 17,85 metros;
  - Nº de pavimentos: 10 andares acima do nível de descarga e 1 subsolo;
  - Pé-direito dos pavimentos: 3,60 metros;
  - Altura do último piso habitável: 33,60 metros (cômodo escolhido para análise)
- Características dos materiais de construção
  - Estrutura: paredes, lajes e pilares em concreto, paredes internas em madeira (MDF);
  - Fachada: fachada das laterais menores em concreto e fachadas das laterais maiores de caixilhos metálicos com fechamento em vidro e *brise-soleil* metálico;
  - Acabamento: vidro nas fachadas, madeira para divisórias internas, tinta nas paredes e pilares, MDF no piso das salas e corredores.
- Sistemas de proteção contra incêndio
  - Extintores: presentes e mantidos, dimensionados pela brigada de incêndio, nº de aparelhos acima do exigido em norma. Não obedecem ao projeto de incêndio aprovado;
  - Sinalização: presente, mas fora do padrão exigido em norma, localização incorreta em alguns pontos. Não obedecem ao projeto de incêndio aprovado;
  - Iluminação: presente e mantida. Não obedecem ao projeto de incêndio aprovado;

Saídas de emergência: Duas escadas externas do tipo EPPFP<sup>5</sup>, mantida. Obedece ao projeto de incêndio aprovado;

Alarme manual: presente e mantido. Obedece ao projeto de incêndio aprovado;

Hidrantes de parede: presente e mantido, reserva técnica de 28000 litros de água com sistema pressurizado. Obedece ao projeto de incêndio aprovado;

Deteção automática: previsto no projeto de incêndio, mas ainda não foi instalado;

Chuveiros automáticos: presente e mantido. Não obedece ao projeto de incêndio aprovado;

Proteção contra descargas atmosféricas: presente e mantido. Não obedece ao projeto de incêndio aprovado;

Exaustão de fumaça: a edificação não possui nenhum sistema com esta finalidade;

Brigada de Incêndio: 5 brigadistas durante o dia e 3 brigadistas durante a noite, 24 horas por dia, todos os dias da semana;

PPCI<sup>6</sup>: existente e aprovado pelo CBMDF desde 2014, mas não são feitos treinamentos periódicos com os usuários nem exercício de evacuação.

- Corpo de bombeiros oficial
  - Distância do quartel: 1,90 km;
  - Tempo de chegada dos bombeiros: abaixo de 8 minutos;
  - Equipamentos disponíveis: Viaturas de salvamento e combate a incêndio com mais de 6000 litros de água.
- Características da população da edificação
  - População fixa<sup>7</sup>: 4.363 pessoas
  - População flutuante<sup>8</sup>: 624 pessoas
  - Necessidades especiais: Não consta no controle de acesso da edificação, mas há espaço para área de espera dentro da escada pressurizada.

### 2.3. Aplicação do método de Gretener

O método de Gretener é o mais utilizado dentre os métodos considerados neste estudo. Desenvolvido na década de 1960 para aplicação em indústrias, foi posteriormente adaptado para o uso em outros tipos de edificação, como os edifícios utilizados para concentração de público, centros comerciais, de ocupação transitória, de uso hospitalar, de uso escolar, dentre outros.

A utilização parte do princípio de que a edificação obedece a todas as regras de segurança contra incêndio (como isolamento e sistemas de prevenção contra incêndio e de evacuação de pessoas), uma vez que tais medidas não podem ser substituídas nesta avaliação. O método foi aplicado conforme previsto no Manual de Uso do Método de Gretener<sup>9</sup>.

A aplicação no Método de Gretener é demonstrada na Figura 17, com os valores atribuídos conforme os parâmetros previstos nas tabelas consultivas, bem como o cálculo do valor final do risco de incêndio admissível para esta edificação.

Para determinar os valores parciais de acordo com os parâmetros estabelecidos pelo método de Gretener foram necessárias algumas adaptações, dentre as quais:

<sup>5</sup> EPPFP: Escada Protegida à Prova de Fumaça Pressurizada.

<sup>6</sup> PPCI: Plano de Prevenção Contra Incêndio (plano que prevê os detalhes da evacuação da edificação em caso de incêndio ou emergência, bem como outras medidas de ação para brigadistas e usuários da edificação).

<sup>7</sup> População que frequenta diariamente a edificação (funcionários e outros usuários regulares).

<sup>8</sup> População que frequenta esporadicamente a edificação (clientes ou outros usuários ocasionais).

- O valor do *Fator g* (amplidão de superfície) foi calculado por semelhança de triângulos dentre os valores apresentados na tabela de referência, uma vez que só havia valores especificados para áreas iguais a 1600m<sup>2</sup> e 2000m<sup>2</sup>, mas a área do compartimento é de 1829,625m<sup>2</sup>, levando a um índice de 0,715.
- O valor do *Fator n<sub>3</sub>* (confiabilidade do abastecimento de água) foi estimado de acordo com a pressão prevista no projeto de incêndio de 1 a 4 bar. No entanto, tanto a vazão quanto o volume da reserva técnica de água para este sistema estão abaixo dos valores mínimos previstos na tabela de referência. O método prevê uma diminuição do coeficiente nestes casos, que aumenta consideravelmente o risco previsto no resultado final da análise. Embora o volume real da reserva técnica da edificação esteja abaixo do mínimo previsto pelo método, este ainda atende às exigências normativas locais.
- O valor do *Fator s<sub>3</sub>* (bombeiros oficiais e empresas) foi considerado como se a edificação não tivesse brigada particular na edificação, porque o sistema só considera a brigada se esta for composta por, no mínimo, dez pessoas. A edificação possui brigada particular com cinco brigadistas durante o dia e três brigadistas durante a noite. Esta é uma brigada profissional, preparada para utilizar os sistemas existentes na edificação e presente vinte e quatro horas por dia, inclusive nos finais de semana. No entanto, para atender ao método, esta não pode ser considerada.
- O *Fator s<sub>6</sub>* (instalações automáticas de evacuação de fumaça) possui apenas um valor correspondente à existência do sistema, sem nenhum valor atribuído à ausência do mesmo. Foi preciso estimar o valor de 1 para esta edificação, uma vez que a mesma não possui sistema de exaustão, para evitar interferência no valor final do *coeficiente de medidas especiais S*.
- O valor do *Fator f<sub>4</sub>* foi estimado como sendo igual a 1 para não prejudicar o cálculo final do coeficiente de medidas de construção, uma vez que não existem células corta-fogo, por se tratar de um cômodo com área superior aos 200m<sup>2</sup> previstos na tabela de referência.

- O fator de correção PHE foi estimado como tendo valor igual a 1 para não afetar o cálculo final do *risco de incêndio admissível*  $P_{H,E}$ , uma vez que não há a previsão de prédios de escritórios administrativos na tabela de referência.

TABELA DE CÁLCULO DO MÉTODO GREENER			
Características da Edificação			
Edificação	Ministério da Infraestrutura/Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação		
Destinação	serviços profissionais: escritórios		
Tipo de compartimentação		V	
Dimensionamento do prédio			
		comprimento (maior dimensão)	l = 102,5
		largura (menor dimensão)	b = 17,85
		relação comprimento:largura	l/b = 5,7 : 1
		área em (m <sup>2</sup> )	área = 1829,625
		carga incêndio (MJ/m <sup>2</sup> )	Qm = 800
Perigos Potenciais			
Conteúdo da Edificação	fator q	carga incêndio mobiliária	q = 1,4
	fator c	combustibilidade	c = 1,2
	fator r	enfumaçamento	r = 1
	fator k	corrosão / toxicidade	k = 1
		valor total do perigo inerente ao conteúdo	= 1,68
Tipo de Construção	fator i	carga incêndio imobiliária	i = 1
	fator e	nível do piso	e = 1,9
	fator g	amplidão da superfície	g = 0,715
			valor total do perigo inerente ao tipo de construção
		<b>Valor total do perigo potencial</b>	<b>P = 2,28228</b>
Medidas Contra o Desenvolvimento do Incêndio			
Medidas Normais	fator n1	extintores portáteis	n1 = 1
	fator n2	hidrantes internos	n2 = 1
	fator n3	confiabilidade do abastecimento de água	n3 = 0,7
	fator n4	conduta de alimentação	n4 = 1
	fator n5	peçoal instruído	n5 = 1
		<b>Valor do coeficiente de medidas normais</b>	<b>N = 0,7</b>
Medidas Especiais	fator s1	deteção de incêndio	s1 = 1,2
	fator s2	transmissão e alerta	s2 = 1,1
	fator s3	bombeiros oficiais e empresas	s3 = 1,9
	fator s4	tempo de intervenção dos bombeiros oficiais	s4 = 1
	fator s5	instalações de extinção	s5 = 1,7
	fator s6	instalações automáticas de evacuação de calor e fu	s6 = 1
		<b>Valor do coeficiente de medidas especiais</b>	<b>S = 4,2636</b>
Medidas de Construção	fator f1	estrutura resistente	f1 = 1,3
	fator f2	fachadas	f2 = 1
	fator f3	lajes	f3 = 1,1
	fator f4	células corta-fogo	f4 = 1
		<b>Valor do coeficiente de medidas de construção</b>	<b>F = 1,43</b>
		fator de exposição ao perigo	B = 19,878489
		perigo de ativação	A = 0,85
		risco efetivo de incêndio	R = 16,896716
		fator de correção	PHE = 1
		risco de incêndio admissível	Ru = 1,3
		<b>VALOR DO FATOR GLOBAL DE SEGURANÇA</b>	<b>γ = 0,076938</b>

Figura 17: Tabela de cálculo do Método de Greener aplicado à edificação.

O método de Greener foi aplicado e obteve um resultado de  $\gamma = 0,076938$ . De acordo com o previsto no próprio método, resultados com valores abaixo de 1 indicam uma edificação insegura com relação à segurança contra incêndio.

## 2.4. Aplicação do método FRAME

O método FRAME (*Fire Risk Assessment Method for Engineering*) foi desenvolvido na década de 1980, pelo engenheiro Erik De Smet, para ser aplicado em qualquer tipo de edificação. O método leva em consideração três tipos de risco: 1) a edificação propriamente dita e seu conteúdo; 2) a população que a utiliza (ocupantes); e 3) a atividade desenvolvida na edificação. Cada um dos três riscos é analisado separadamente, considerando que o pior cenário em um incêndio pode ser diferente para a estrutura, para as pessoas e para a atividade desenvolvida.

A aplicação deste método para a edificação objeto deste estudo foi realizada conforme previsto no manual do usuário, elaborado pelo próprio autor do método<sup>[6]</sup>. Os valores considerados no cálculo são demonstrados na Figura 2.

Para determinar os valores parciais de acordo com os parâmetros estabelecidos pelo método FRAME, também foram necessárias algumas adaptações. Durante a aplicação foram identificados muitos parâmetros que precisaram ser interpretados por não ter uma previsão exata nas tabelas de referência, dentre os quais:

- O valor do *Subfator*  $a_5$  foi considerado como sendo zero para não afetar o cálculo do valor do *Fator de ativação*  $a$ , uma vez que não há previsão de não existência de atividades secundárias na tabela de referência.
- O *Valor do conteúdo*  $c$  teve que ser estimado pelo preço de mercado de móveis, considerando a montagem de um escritório para 437 pessoas por andar, conforme a população fixa existente.
- O *Subfator*  $w_2$  foi considerado como sendo 4, que indica uma reserva técnica mais de 30% menor do que o ideal. A determinação deste valor foi feita considerando que método traz o seu próprio cálculo de volume ideal, que resultou em 100m<sup>3</sup> para esta edificação. No entanto, a mesma possui uma reserva com volume de 28m<sup>3</sup>, que atende às exigências normativas locais.
- O *Subfator*  $w_3$  foi considerado como zero, que indica uma rede de distribuição adequada, embora o diâmetro da tubulação existente (50mm) seja menor do que o mínimo previsto na tabela (80mm). O parâmetro, ao se referir a uma tubulação adequada, deixa margem para interpretar que pode ser considerada adequada aquela que estiver de acordo com as exigências normativas locais.
- O valor do *Subfator*  $u_1$  foi considerado como zero, uma vez que não há sistema de detecção automática na edificação e o sistema de chuveiros automáticos não está presente em todos os lugares.

Os cálculos dos três tipos de risco levam em conta o perigo potencial existente frente ao risco considerado aceitável e ao nível de proteção. Valores de risco menores do que 1, nestes casos, indicam que o perigo potencial é menor do que a combinação do risco aceitável com o nível de proteção.

Os resultados do cálculo de risco para bens patrimoniais  $R = 0,441$ , de risco para os ocupantes  $R1=0,756$  e de risco para a atividade desenvolvida  $R2=0,589$  demonstram que, isoladamente, a edificação está segura.

TABELA DE APLICAÇÃO DO MÉTODO FRAME				
carga incêndio imobiliária	$Q_i$	0	volume ideal do reservatório de água (em m³)	$100$
carga incêndio mobiliária	$Q_m$	400	subfator w2: capacidade do reservatório de água	w2 4
subfator T	$T$	100	subfator w3: rede de distribuição de água	w3 0
subfator m	$m$	0,3	subfator w4: pressão na rede de distribuição	w4 0
subfator M	$M$	0	n° total de hidrantes	4
comprimento equivalente (em metros)	$l$	102,5	diâmetro da tubulação de hidrantes	58mm
largura equivalente (em metros)	$b$	17,85	n° de hidrantes equivalentes a 70mm	4
número de andares	$E$	9	distância média entre hidrantes	60,175
altura do pé direito do cômodo (em metros)	$h$	3,6	subfator w5: distribuição de hidrantes	w5 1
área de janelas no terço superior das paredes do cômodo		0	subfator n1: alarme	n1 0
área total da superfície do cômodo		1829,625	subfator n2: meios de primeira intervenção	n2 0
coeficiente de ventilação	$k$	0	subfator n3: tempo de chegada do corpo de bombeiros	n3 0
n° de vias de acesso	$Z$	2	subfator n4: treinamento dos ocupantes	n4 2
altura do cômodo em metros acima do nível de descida	$H+$	33,6	subfator s1: detecção automática	s1 4
altura do cômodo em metros abaixo do nível de descida	$H-$	3,6	subfator s2: reservas de água	s2 2
subfator a1: atividades principais	a1	0	subfator s3: proteção automática do cômodo	s3 14
subfator a2: instalações de aquecimento	a2	0	subfator s4: corpo de bombeiros	s4 14
subfator a3: instalações elétricas	a3	0,1	subfator fs: elementos estruturais (em minutos)	fs 60
subfator a4: risco de explosão	a4	0	subfator ff: elementos de fachada (em minutos)	ff 30
subfator a5: atividades secundárias	a5	0	subfator fd: elementos de cobertura (em minutos)	fd 60
subfator X: densidade populacional	$X$	498,7	subfator fw: paredes internas (em minutos)	fw 0
somatório da largura das saídas (-0,20m para cada um)		1,2	resistência ao fogo média do cômodo	f 45
subfator x: largura de saída	$x$	2	subfator u1: detecção automática	u1 0
subfator p: mobilidade	$p$	1	subfator u2: meios de evacuação	u2 8
subfator K: n° de rotas de saída	$K$	2	subfator u3: compartimentação do cômodo	u3 0
valor monetário do recheio (em euros)		5040258,1	subfator u4: proteção por sprinklers	u4 10
subfator c1: substituição de bens armazenados	c1	0	subfator u5: brigadistas	u5 8
subfator c2: capacidade de substituição de valores	c2	-0,035661316	subfator y1: proteção física	y1 2
subfator w1: tipo de reservatório de água	w1	0	subfator y2: organização	y2 0
Cálculos do Risco de Incêndio				
fator de carga calorífica	$q$	1,184706661	Risco para os bens patrimoniais	
fator de propagação	$i$	0,952287875	Perigo Potencial	$P$ 2,078439789
fator de geometria horizontal	$g$	0,88836039	Risco Aceitável	$A$ 0,999572872
fator de andares	$e$	1,730086963	Nível de Proteção	$D$ 4,709306823
fator de ventilação	$v$	1,100205999	Risco para os bens patrimoniais	$R$ 0,441535879
fator de acessibilidade para um cômodo acima do nível	$z$	1,0895	Risco para os ocupantes	
fator de acessibilidade para um cômodo abaixo do nível	$z$	1	Perigo Potencial	$P1$ 2,339635819
fator de ativação	$a$	0,1	Risco Aceitável	$A1$ 0,963911556
fator de tempo	$t$	0,536088444	Nível de Proteção	$D1$ 3,208994601
fator de recheio	$c$	-0,035661316	Risco para os ocupantes	$R1$ 0,756383573
fator de dependência	$d$	0,8	Risco para a Atividade Desenvolvida	
fator de ambiente	$r$	0	Perigo Potencial	$P2$ 1,754391916
fator de recursos de água	$W$	0,773780938	Risco Aceitável	$A2$ 0,735661316
fator de recursos de proteção normal	$N$	0,9025	Nível de Proteção	$D2$ 4,04464122
fator de recursos de proteção especial	$S$	5,253347969	Risco para a Atividade Desenvolvida	$R2$ 0,589615232
fator de resistência ao fogo	$F$	1,283676472	Risco Inicial	
fator de evacuação	$U$	3,555672688	Risco Inicial	$R0$ 1,322631336
fator de salvamento	$Y$	1,1025		
resistência da estrutura	$F0$	1,57211452		

Figura 18: Tabela de cálculo do Método FRAME aplicado à edificação.

O método também prevê o cálculo do risco inicial da estrutura  $R_0$ , que considera o risco ao qual a edificação está exposta permanentemente, independente de estar ou não em uso, durante o funcionamento ou no período em que se encontra fechada. Este risco mostra o estado inicial e leva em consideração o valor do perigo potencial em relação ao risco aceitável e à resistência da estrutura em si.

O cálculo resultou em  $R_0 = 1,322631336$ . De acordo com o previsto no próprio método, resultados com valores entre 1 e 1,6 indicam que é preciso implementar sistemas automáticos de detecção, para possibilitar uma ação rápida da brigada de incêndio ou do corpo de bombeiros, bem como adicionar proteção para os ocupantes e para as atividades desenvolvidas.

## 2.5. Aplicação do método MARIEE

O Método MARIEE (Método de Avaliação de Risco de Incêndio em Edifícios Existentes) foi desenvolvido em 2014, tendo como base o MARIE&FEUP, e avançou por considerar também os fenômenos físicos do fogo e da combustão para analisar o risco de incêndio e as consequências previsíveis. O método é baseado na análise de

quatro fatores globais: 1) Probabilidade da ocorrência de incêndio (POI); 2) Consequências totais do incêndio (CTI); 3) Desenvolvimento e propagação do incêndio (DPI); e 4) Eficácia de socorro e combate a incêndio (ESCI).

Um importante diferencial do método MARIEE é que ele não parte do princípio de que a edificação possui todos os sistemas de prevenção e combate a incêndio previstos na legislação local, prevendo, inclusive, parâmetros para quando há o descumprimento das normas ou quando não existe o sistema de segurança contra incêndio.

<b>PLANILHA DE CÁLCULO DO MÉTODO MARIEE</b>		
<b>Probabilidade de ocorrência de incêndio - POI</b>		
Caracterização da Construção	POI <sub>CC</sub>	1
Instalações Elétricas	POI <sub>EE</sub>	1,2
Instalações de Aquecimento	POI <sub>IA</sub>	
Instalação de Confeção de Alimentos	POI <sub>ICONEA</sub>	
Instalações de Conservação de Alimentos	POI <sub>ICONSA</sub>	
Instalações de Ventilação e Condicionamento de Ar	POI <sub>IVCA</sub>	1
Instalações de Líquidos e Gases Combustíveis	POI <sub>ILGC</sub>	
Edifícios Fronteiros	POI <sub>EF</sub>	
Atividade desenvolvida na edificação	POI <sub>EA</sub>	
Procedimentos e Planos de Prevenção	POI <sub>PPP</sub>	1
Atividade desenvolvida na edificação	POI <sub>ATIV</sub>	1
<b>Fator Global de Probabilidade de Ocorrência de Incêndio</b>	<b>POI</b>	<b>1,04</b>
<b>Consequências Totais do Incêndio - CTI</b>		
Consequências Parciais do incêndio associadas à Potência Calorífica liberada no cenário	CPI <sub>CIP</sub>	1,1
Consequências parciais do incêndio associadas à fumaça produzida no cenário	CPI <sub>CIF</sub>	0,9
Consequências parciais de incêndio associadas à reação ao fogo dos materiais de revestimento no cenário	CPI <sub>CIRM</sub>	1,15
Consequências do incêndio associadas ao cenário	CPI <sub>CI</sub>	1,05
consequências parciais associadas às vias horizontais de evacuação	CPI <sub>VHE</sub>	
consequências parciais associadas às vias verticais de evacuação	CPI <sub>VVE</sub>	
<b>Fator Global de Consequências Totais do Incêndio</b>	<b>CTI</b>	<b>0,35</b>
<b>Desenvolvimento e Propagação do Incêndio - DPI</b>		
Proteção, resistência, estanqueidade e isolamento dos locais	DPI <sub>REIL</sub>	1,4
Estanqueidade e isolamento das paredes e portas do local de	DPI <sub>EI</sub>	1
Afastamento entre vãos exteriores da mesma prumada	DPI <sub>AV</sub>	1
Paredes Exteriores	DPI <sub>PE</sub>	1,05
Organização da Gestão de Segurança	DPI <sub>OSS</sub>	1
	<b>DPI</b>	<b>1,09</b>
<b>Fator de eficácia de Socorro e Combate a Incêndio - ESCI</b>		
Prontidão dos bombeiros	ESCI <sub>GP</sub>	1,1
Acesso ao edifício	ESCI <sub>AE</sub>	1,1
Hidrantes Exteriores	ESCI <sub>HE</sub>	1
Extintores	ESCI <sub>EXT</sub>	0,8
Rede de incêndio armada (hidrantes de parede)	ESCI <sub>RIA</sub>	1
Corpo Privado de bombeiros (brigada de incêndio particular)	ESCI <sub>CPB</sub>	1
	<b>ESCI</b>	<b>1</b>
<b>Risco de Incêndio</b>		
Probabilidade de ocorrência	P	1,04
Gravidade	G	0,3563
<b>Risco de Incêndio</b>	<b>RI</b>	<b>0,37055</b>

Figura 19: Tabela principal de cálculo do método MARIEE aplicado à edificação.

O método foi aplicado conforme previsto na pesquisa de Correia<sup>[7]</sup>, que aprimorou a aplicação do mesmo em sua dissertação de mestrado na Universidade do Porto/PT. Os valores considerados no cálculo são apresentados na Figura 3.

Assim como ocorreu com os dois métodos utilizados anteriormente, foi preciso fazer interpretação de alguns parâmetros de referência para avaliar a edificação e houve também problemas de adaptação com algumas fórmulas de cálculo referentes ao comportamento da fumaça nas vias de evacuação de pessoas, dentre as quais:

- O cálculo da probabilidade de ocorrência de incêndio (POI) leva em conta onze fatores que indicam as características da edificação (estruturais, outras edificações adjacentes, sistemas e aparelhos instalados devido à atividade desenvolvida, dentre outros). Estes parâmetros são tabelados, mas as definições são

vagas, geralmente prevendo apenas se os sistemas existem e se atendem a legislação vigente, sem muito detalhamento sobre as condições de uso e manutenção.

- O *Fator  $CPI_{CIF}$*  é definido pela razão entre o limite associado ao volume de fumaça e o tempo de percurso até a saída do cômodo incendiado. Mas não há previsão na tabela de referência para situações em que esta razão tem valor maior do que 4, como foi o caso da edificação objeto deste estudo.
- Algumas fórmulas de cálculo não puderam ser aplicadas exatamente como previsto no método porque a edificação em estudo não possui vias horizontais de evacuação (VHE) e as vias verticais de evacuação (VVE) são protegidas e pressurizadas. Foram feitas adaptações de valores para não comprometer o resultado do risco de incêndio RI.

O método MARIEE foi aplicado e obteve o resultado de  $RI = 0,370552$ . De acordo com o previsto no próprio método, resultados com valores menores do que 1 indicam que a edificação tem um índice de segurança melhor ou mais eficiente do que o legalmente exigido.

### 3. CONCLUSÃO

Os resultados finais da análise de risco de incêndio feita por meio de três métodos diferentes mostraram resultados conflitantes. A aplicação do método de Gretener indicou que a edificação é bastante insegura, uma vez que o valor encontrado corresponde a menos de 10% do índice ideal. A aplicação do método FRAME indicou que a edificação precisa de aprimoramento da segurança contra incêndio, mas os resultados não foram tão baixos quanto os do método Gretener, ainda mais se forem considerados os valores parciais dos riscos para o patrimônio, as pessoas e a atividade desenvolvida. No entanto, a aplicação do método MARIEE, que é mais detalhado do que os anteriores e leva em consideração aspectos como a evolução do incêndio, o comportamento da fumaça e o tempo em que a rota de fuga continua segura para a evacuação de pessoas, indicou que a edificação tem um nível de segurança melhor do que o legalmente exigido.

As diferenças entre os resultados pode ser consequência dos parâmetros diferentes valorizados por cada método. O Gretener e o FRAME focam na estrutura da edificação e nos sistemas de detecção e combate a incêndio presentes. Já o MARIEE leva em consideração a compartimentação dos ambientes e o comportamento da fumaça, visando a proteção das pessoas e a garantia de uma evacuação segura.

A edificação objeto deste estudo é composta por grandes vãos que ocupam o pavimento inteiro, uma vez que as paredes e divisórias internas não oferecem qualquer resistência à propagação do incêndio, sendo, inclusive, inflamáveis (paredes de MDF). No entanto, devido a modificações posteriores à construção, foram instaladas duas escadas externas com ventilação positiva (pressurização), que impedem a entrada de fumaça neste ambiente, garantindo uma fuga segura dos ocupantes. Este foi o fator que aumentou a segurança na análise feita pelo método MARIEE, uma vez que este é o único dos três que dá grande peso às vias de evacuação de pessoas.

As edificações brasileiras seguem regras nacionais de construção e de segurança contra incêndio que divergem, em muitos pontos, da legislação europeia. Isto ficou claro, principalmente, no que diz respeito ao sistema de hidrantes de parede e às exigências de brigada de incêndio. Este é um fator importante a ser considerado para aplicação de metodologias com parâmetros internacionais ao Brasil.

Para que tais métodos de avaliação sejam eficientemente aplicados no Brasil, os critérios precisam ser adaptados à realidade e à legislação local. Ao respeitar os objetivos e a metodologia, mas adequando os fatores de especificação, é possível aplicar tais métodos para avaliar o risco de incêndio das edificações brasileiras e contribuir para o aprimoramento da segurança contra incêndio no país.

### REFERÊNCIAS

- [1] Distrito Federal. - *Decreto nº 116, de 12 de setembro de 1961*. Brasília/DF. 1961.

- [2] Costa, Ártemis Sandra Borges Nunes. - *Projeto de Instalações Contra Incêndio e Pânico*. EMI/N Bloco R – Ministério das Comunicações. Protocolo 37059 de 26 de maio de 2017. Parecer de Aprovação nº 4553170, de 16 de janeiro de 2018. CAU: A85312-7. 18 pranchas.
- [3] Vistoria *in loco* realizada pela autora no dia 19 de fevereiro de 2021. Esplanada dos Ministérios, Bloco R.
- [4] Entrevista realizada com o Sr. Juliano Borges de Freitas, Coordenador de Infraestrutura Predial do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, em 19 de fevereiro de 2021. Contato: juliano.freitas@mctic.gov.br
- [5] Universidade de Coimbra. *Manual de Uso do Método Gretenner*. Material disponibilizado na disciplina de Modelação de Evacuação e Risco de Incêndio, do Curso de Doutoramento em Engenharia de Segurança ao Incêndio. Coimbra/Portugal. 2019.
- [6] De Smet Erik. *FRAME 2011 - Manual para o usuário*. - Gent/Bélgica : [s.n.], 2011.
- [7] Correia, André Gomes Ferreira Araújo. *Desenvolvimento e Implementação Numérica de um Modelo de Análise de Risco de Incêndio Urbano - MARIEE - Edifícios Administrativos, Escolares, Habitacionais, Hospitalares e Hoteleiros*. - Porto/PT : FEUP - Universidade do Porto, 2014.

## ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO BASEADA NO DESEMPENHO A PARTIR DE CENÁRIOS DE INCÊNDIO



**António B. Leiras<sup>9</sup>**  
Doutorando em  
Engenharia de  
Segurança aos  
Incêndios Univ. de  
Coimbra, Portugal



**João Paulo C.  
Rodrigues<sup>10</sup>**  
Professor  
Universidade de  
Coimbra, Portugal

### RESUMO

Considerando-se que o risco de incêndio depende do desempenho da segurança contra incêndios, depreende-se que qualquer metodologia de avaliação de risco de incêndio tenderá a ser tanto mais eficaz quanto mais componentes que concorrem para a segurança contra incêndios forem metodicamente integradas no processo de análise de risco, quanto mais criterioso for esse processo e quanto mais fiável for o modelo matemático utilizado para estimar esse risco. Com base nesses pressupostos, assume-se a hipótese de desenvolver um método de avaliação de risco de incêndio que, com uma abordagem holística, permita analisar o potencial de falha de cada uma das componentes críticas (barreiras ao incêndio) que concorrem, diferenciadamente, para o desempenho global do sistema de segurança contra incêndios em edifícios. Este processo de análise integra um modelo mais amplo de avaliação de risco de incêndio que tenta responder a alguns constrangimentos dos atuais métodos de avaliação de risco de incêndio, relativamente à sua utilização - com idêntica fiabilidade - a diferentes tipologias de edifícios e de ocupações (largo espectro de utilização). Para reduzir o mais possível o nível de incerteza, esse método utiliza um processo redundante (dual) de análise do risco do incêndio. Numa primeira dimensão de análise (não tratada nesta comunicação), o modelo analisa o risco de incêndio a partir de parâmetros de probabilidade, gravidade e exposição para estimar o risco de incêndio em função do potencial de falha de componentes críticas da segurança contra incêndio. Numa segunda dimensão de análise - objeto da presente comunicação - utiliza cenários de incêndio para determina o potencial de crescimento e de propagação do incêndio em função das condições existentes no edifício, para avaliar se o edifício é efetivamente seguro para os seus ocupantes até à sua total evacuação.

Palavras chaves: risco, incêndio, cenários, desempenho, segurança.

### 1. INTRODUÇÃO

Genericamente pode considerar-se que a avaliação de risco de incêndio é um processo que procura determinar a probabilidade de um incêndio ocorrer e as consequências dos seus efeitos, tendo em conta a exposição ao mesmo. É relativamente consensual que ainda persistem alguns constrangimentos nos atuais métodos de avaliação do risco de incêndio, relativamente à possibilidade da sua utilização indiscriminada em edifícios, com o mesmo nível

<sup>9</sup> Doutorando de engenharia de segurança ao incêndio em edifícios na Universidade de Coimbra - ableiras@hotmail.com

<sup>10</sup> Professor de Enga. Civil e Enga. de Segurança ao Incêndio na Universidade de Coimbra - jpaulocr@dec.uc.pt

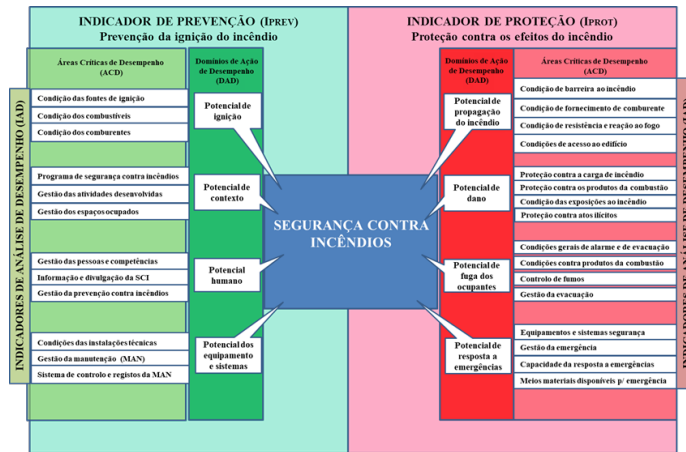
de fiabilidade, independentemente da sua natureza e tipo de ocupação. Da análise efetuada ao estado da arte pode concluir-se que a grande maioria dos métodos de avaliação de risco se baseiam em processos que analisam um número mais ou menos alargado de componentes que os respetivos autores consideram como mais críticas para a segurança contra incêndios. As principais diferenças encontradas entre os métodos analisados são a quantidade de componentes integradas no processo de análise, a ponderação relativa que essas componentes assumem para a estimativa do risco global de incêndio, o modelo matemático utilizado para alcançar essa estimativa e a maneira como as respetivas variáveis são integradas no processo de análise do risco de incêndio. Pode considerar-se que os principais métodos de análise de risco de incêndio estudados podem-se agrupar em quatro categorias: listas de verificação, métodos narrativos, métodos de indexação e métodos probabilísticos. Em geral, as abordagens diferem na técnica usada para lidar com as incertezas decorrentes da variabilidade das condições de incêndio e a falta de um completo conhecimento do risco de incêndio representado por modelos de engenharia ou categorias de dados probabilísticos [1]. Por exemplo, no âmbito da indústria química a natureza da análise dos métodos de avaliação de risco de incêndio pode corresponder aos três seguintes tipos de análise i) Análise qualitativa, que descreve a qualidade do risco através de palavras, ii) análise quantitativa, que quantifica os riscos através de dados numéricos, na qual pode ainda efetuar-se a distinção entre uma análise determinística e uma análise probabilística, sendo que a análise determinística se concentra na descrição dos riscos em termos de consequências e a análise probabilística se concentra na descrição dos riscos baseada na frequência e na consequência e iii) análise semi-quantitativa – que usa números para quantificar dados qualitativos [2, 3, 4]. Diferenças também existem relativamente à quantificação da incerteza e do risco, que podem consistir em abordagens objetivas que se baseiam estritamente em dados estatísticos, em abordagens subjetivas que variam com o julgamento dos especialistas ou em técnicas mais formais, como por exemplo os métodos Bayesianos [5]. Quanto à conceção dos métodos de avaliação de risco, eles tanto podem ser concebidos especificamente para avaliar o risco de incêndio, como podem ser concebidos como métodos generalistas de avaliação de risco que acabam por ser utilizados para a avaliação do risco de incêndio. Como exemplo destes últimos, podem considerar-se as árvores de eventos que não são concebidas especificamente para a análise de risco de incêndio, mas que são utilizados com relativo sucesso na avaliação do risco de incêndio. Quanto aos primeiros, eles são concebidos de raiz para serem utilizados na avaliação do risco de incêndio. Relativamente a estes podem existir métodos com abordagens mais prescritivas, como por exemplo o método de Gretener [6] e outros com abordagens mais baseadas no desempenho, como por exemplo o método proposto por Fitzgerald e Meacham [7a].

## 2. FUNDAMENTOS DA METODOLOGIA BASEADA EM CENÁRIOS DE INCÊNDIO

Assumindo-se que a segurança contra incêndios depende da eficácia de variáveis como a prevenção e proteção contra incêndios, pressupõe-se que o risco de incêndio será tanto maior quanto maior for o potencial de falha dessas duas variáveis. Partindo dessa premissa, a metodologia de Análise baseada em cenários de incêndio (MABCI), que integra o Método de Avaliação de Risco de Incêndio Baseada no Desempenho (MARIBD), assenta num processo dual de análise do risco de incêndio em edifícios. Esse método, em uma primeira dimensão de análise de natureza prescritiva (não discutida na presente comunicação), estima de uma forma semiquantitativa o desempenho de determinadas componentes que os autores consideram críticas para a eficácia das variáveis acima referidas, sendo esse desempenho comparado com um desempenho otimizado designado por desempenho padrão (considerado condição de barreira ao incêndio). Simultaneamente, em uma segunda dimensão de análise baseada no desempenho (objeto da presente comunicação), o método estima o comportamento do edifício em confronto com determinados cenários de incêndio, avaliando se o seu desempenho garante a segurança dos ocupantes até à completa evacuação do edifício. Para efeito de facilidade de utilização e de aplicação, o método é operacionalizado por um programa computadorizado que permite inserir indicadores de análise de desempenho (inputs), efetuar a modelação dos mesmos e gerar indicadores de gestão (outputs), os quais para além de permitirem a avaliação do risco de incêndio propriamente dita, produzem um vasto conjunto de informação para apoio ao processo de tomada de decisão no domínio da gestão da segurança contra incêndios em edifícios.

A metodologia de análise de risco de incêndio em função de cenários de incêndios é efetuada a partir do potencial de falha das barreiras (PFB) ao incêndio representadas por Áreas Críticas de Desempenho (ACD), face a cenários de incêndio previamente selecionados, sendo esse PFB estimado a partir de indicadores de Análise de Desempenho (IAD) o potencial de Domínios de Ação de Desempenho (DAD) para efeito do risco de incêndio. Metade desses domínios de ação fazem parte dos índices de prevenção ( $I_{PREV}$ ) e a outra metade faz parte do índice de proteção ( $I_{PROT}$ ) constantes da figura 1.

Figura 1 – Componentes do sistema de segurança contra incêndios.



A metodologia de análise de risco de incêndio em função de cenários de incêndio é efetuada a partir do potencial de falha dos IAD face a cenários de incêndio previamente selecionados. O cenário de incêndio representa uma descrição técnica da expectativa social relativa à segurança contra incêndios, devendo o mesmo descrever os fatores críticos para a ocorrência do incêndio, tais como fonte de ignição, natureza e configuração dos combustíveis, ventilação, características e localização dos ocupantes e as condições estruturais do edifício [8]. Fire Design é definido como sendo o conjunto de condições relativas ao desenvolvimento de um incêndio, à sua propagação, aos produtos libertados pelo fogo, à reação das pessoas a esses produtos e aos seus efeitos sobre as mesmas [9]. A National Fire Protection Association [10] define ainda o conceito de "Design Fire Scenarios" como sendo cenários de incêndio que podem ser selecionados para efeito de avaliação do desempenho de soluções ou alternativas de engenharia de segurança contra incêndios na fase de projeto, estabelecendo para isso oito tipos de cenários. Os cenários de incêndio de projeto devem ser baseados na realidade esperada e desenvolvidos em conformidade com o tipo de ocupação do edifício e nas piores condições que sejam razoavelmente previsíveis [11].

A tarefa de identificar e selecionar cenários de incêndio faz parte da fase de projeto, devendo esses cenários ser suficientemente exigentes para testar os projetos e as respetivas alternativas propostas, de forma a garantir que essas propostas satisfaçam as metas/objetivos da segurança contra incêndios [12]. O processo de triagem de cenários de incêndio é feito usando os melhores juízos de engenharia e uma variedade de ferramentas determinísticas e probabilísticas, como por exemplo as árvores de eventos ou métodos de análise qualitativa [13]. Segundo a International Organization for Standardization [14], para garantir a credibilidade de um processo de análise de segurança contra incêndios é importante utilizar uma abordagem qualitativa ou semi-quantitativa. O Fire Risk Evaluation and Cost Assessment Model (FiRECAM) desenvolvido pelo National Research Council of Canada (NRC) usa seis cenários de incêndio de projeto a partir do compartimento de origem do incêndio com a conseqüente propagação da chama e do fumo, para avaliar os riscos para a vida e os custos da proteção contra incêndios em edifícios de escritórios [15]. Após análise da literatura de referência, entendeu-se utilizar os sete cenários de incêndio de projeto que são descritos no quadro 1.

Quadro 1 – Cenários de Incêndio utilizado para analisar e validar a proteção de incêndio

POTENCIAS CENÁRIOS DE INCÊNDIO	
<b>CIP1</b>	Ignição oculta no interior de paredes ou de estruturas subjacentes a locais com ocupação humana significativa (>20pessoas).
<b>CIP2</b>	Incêndio que se desenvolve de uma forma ultra rápida que afeta a principal via de evacuação, com portas abertas no momento da ignição.
<b>CIP3</b>	Ignição num local normalmente não ocupado que pode propagar-se a um local adjacente com número significativo de pessoas (>20pessoas) colocando as mesmas em perigo.
<b>CIP4</b>	Pequeno incêndio que se desenvolve lentamente a partir de um local inacessível aos meios de proteção contra incêndio a pouca distância de um local de elevada ocupação humana (>100 pessoas).
<b>CIP5</b>	Incêndio grave que resulte da maior carga de incêndio que se preveja para a atividade desenvolvida no edifício, com o respetivo efetivo teórico presente no mesmo.
<b>CIP6</b>	Incêndio que tem origem em combustíveis ordinários num local ou área onde cada sistema de proteção ativa ou passiva fica inoperativa.
<b>CIP7</b>	Incêndio exterior que expõe o edifício e que pode bloquear a sua evacuação ou desenvolver condições que não garantam a sustentabilidade de vida.

Esta metodologia de análise de risco de incêndio permite avaliar o desempenho das condições referentes ao índice de prevenção ( $I_{PREV}$ ) e das condições referentes ao índice de proteção contra incêndios ( $I_{PROT}$ ) instaladas em edifícios já existentes ou validar as soluções de engenharia de segurança contra incêndios a instalar em edifícios na fase de projeto. Nesse sentido, a probabilidade de materialização dos cenários de incêndio de projeto é determinada por intermédio de uma árvore de falhas, em função do potencial de falha de componentes selecionadas do  $I_{PREV}$  (figura 2). Já as consequências (gravidade) da materialização dos cenários de incêndio de projeto são determinadas por intermédio de uma árvore de eventos, em função do potencial de falha de componentes selecionadas  $I_{PROT}$  (figura 3).

Partindo-se do pressuposto de que os Cenários de Incêndio de Projeto (CIP) especificam as condições de incêndio face às quais se espera que uma determinada proposta ou solução técnica de engenharia de segurança contra incêndios possa cumprir as suas metas, assume-se que esse mesmo princípio possa ser aplicado para efeito de avaliação do desempenho do potencial de resposta a emergência. Assim, para efeito de análise, foi assumido um terceiro conceito de cenário de incêndio, designado por Cenários de Incêndio para Resposta a Emergência (CIRE), considerando-se que o mesmo representa um conjunto de condições racionalmente válidas que especificam os fatores críticos do incêndio, face aos quais se espera que uma determinada condição de resposta ao incêndio instalada ou a instalar num edifício possa cumprir as suas metas.

Figura 2 – Utilização de cenários de incêndio para avaliar e validar as condições do  $I_{PREV}$

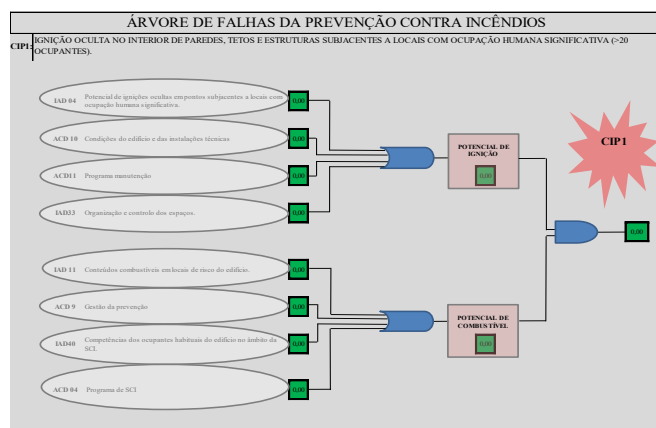
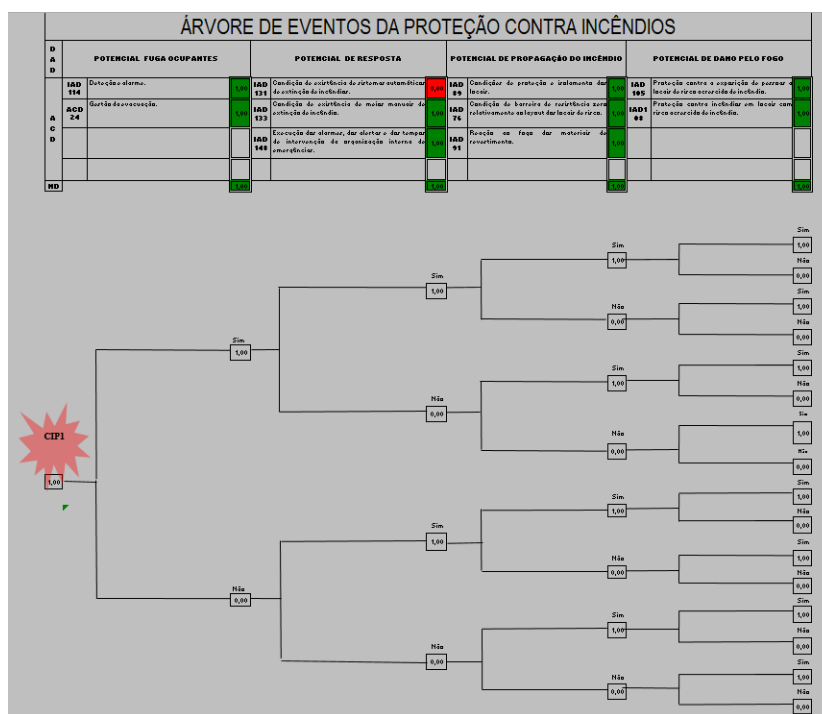
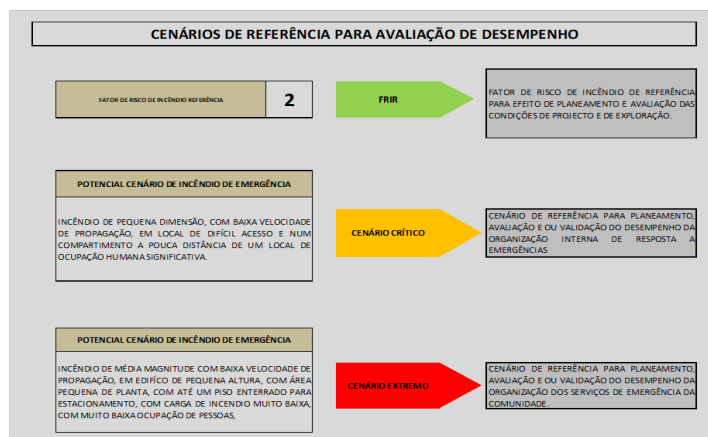


Figura 3 – Utilização de cenários de incêndio para avaliar as condições do IPROT



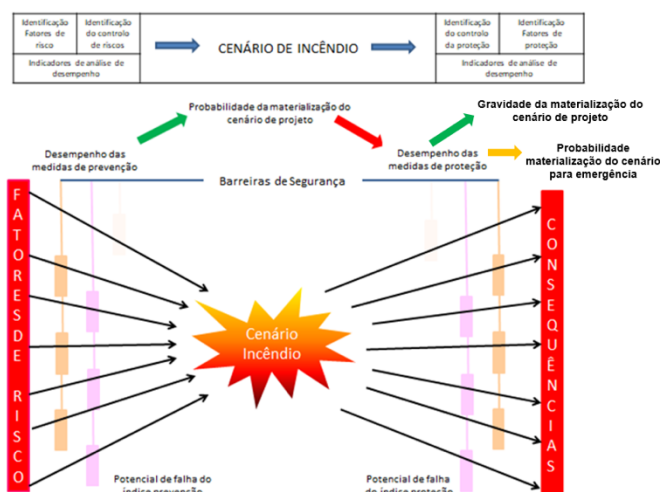
Para efeito de avaliação de desempenho da prevenção contra incêndios instalada no edifício, após determinar o potencial de falha das condições de barreira ao incêndio do IPREV, por intermédio da respetiva árvore de falhas, é determinada a probabilidade de materialização de cada um dos sete cenários de incêndio de projeto. Para efeito de avaliação de desempenho da proteção contra incêndios instalada ou a instalar no edifício, após determinar o potencial de falha das condições de barreira ao incêndio do IPROT, por intermédio da respetiva árvore de eventos, são determinadas as consequência da materialização de cada um dos sete cenários de incêndio. Em função do desempenho do edifício face aos cenários de incêndio são gerados cenários de incêndio para resposta a emergência que permitem validar as condições e os meios de resposta a incêndios. Nesse sentido, a partir do cenário de incêndio para resposta emergência com maior probabilidade de materialização é determinado o Cenário de Incêndio Crítico para resposta a Emergência (CICRE) para efeito de avaliação ou validação das condições e meios para resposta a incêndio instalada no edifício. A partir do cenário de incêndio para resposta a emergência com maior gravidade de materialização é determinado o Cenário de Incêndio Extremo para resposta a Emergência (CIERE) que permite avaliar ou validar o desempenho dos serviços públicos de emergência (Figura 4). Estes dois tipos de CIRE, para além de permitirem avaliar e validar as condições de resposta a emergências, podem ser utilizados para efeito de planeamento de emergência.

Figura 4 – Cenários de Incêndio de resposta a emergência gerados.



O processo de determinação do risco de materialização dos cenários de incêndio é conseguido através de uma metodologia do tipo diagrama “Bow-Tie”, adaptado ao incêndio, em função do potencial de falha das componentes dos I<sub>PREV</sub> e I<sub>PROT</sub> (figura 5).

Figura 5 – Processo de determinação do risco de materialização dos cenários de incêndio.



Para além dos atributos já referidos, a metodologia de análise permite confrontar, em função do tempo, o desempenho de todas as partes do sistema de segurança contra incêndios instalado no edifício com a velocidade de crescimento e propagação do incêndio. A determinação do tempo de crescimento do incêndio é feita a partir da dinâmica que o incêndio interior pode assumir em função das condições estabelecidas no edifício. Nessa medida, com base num perfil representativo de incêndio de compartimento (curva de incêndio) e utilizando os cenários de incêndio de diagnóstico já referidos, são analisados, numa fita de tempo, os principais eventos relacionados com o crescimento do incêndio, com os produtos por ele libertados, com o comportamento do sistema de segurança contra incêndios do edifício e dos seus ocupantes. Esta análise permite estimar o tempo que demoram a ser alcançados determinados limites relativos a algumas condições críticas para a segurança dos ocupantes de um edifício. Exemplos desses limites, são o limite crítico de sustentabilidade de vida no edifício e o limite crítico para a evacuação segura do mesmo.

Embora às vezes seja usada uma única relação matemática para descrever o crescimento do incêndio, o tempo de duração e a certeza desse crescimento no interior de compartimentos podem ser muito diferentes, devido às diferenças de combustível, condições de ventilação e configuração do próprio compartimento. Por isso é mais fácil entender completamente o processo de crescimento do incêndio, segmentando-o em seis regiões de crescimento [7b]. Como cada região tem um conjunto de fatores que dominam o seu comportamento dentro do respetivo segmento de incêndio, esta parece configurar uma opção válida para melhor analisar os detalhes da sua evolução e as respetivas interligações.

Utilizando o mesmo princípio, o processo de análise baseado no desempenho modela o potencial crescimento do incêndio para a hipótese de existir uma fonte de ignição eficaz, atendendo aos fatores que mais contribuem para cada um dos quatro estágios de desenvolvimento do incêndio que se encontram sombreados na figura 6. São utilizados Diagramas Interativos de Desempenho (DID) que apresentam graficamente, a partir de cada um dos cenários de incêndio de projeto, a relação entre o potencial crescimento do incêndio, o desempenho do edifício e a consequente resposta dos seus ocupantes (Fig. 8) face a cada um desses cenários. O primeiro estágio (E1) permite analisar o processo que determina as condições do combustível que potenciam a ignição do incêndio. O segundo estágio (E2) permite analisar o processo de crescimento do incêndio até à combustão estabelecida, correspondendo este a um fogo representativo de cerca de 50 cm de altura e de 25 kW de potência, sendo o limite superior desse segmento representado no DID respetivo pela condição de fogo localizado no ponto de origem. O terceiro estágio (E3) permite analisar o processo de crescimento do incêndio até ao designado ponto de teto, correspondendo este a um fogo representativo de cerca de 250 cm de altura e de 1000 kW de potência, sendo o limite superior desse segmento representado no DID respetivo pela condição de fogo em desenvolvimento no compartimento de origem. O quarto estágio (E4) permite analisar o processo de crescimento do incêndio até ao ponto de flashover (ignição simultânea de todos os conteúdos combustíveis existentes no compartimento), sendo

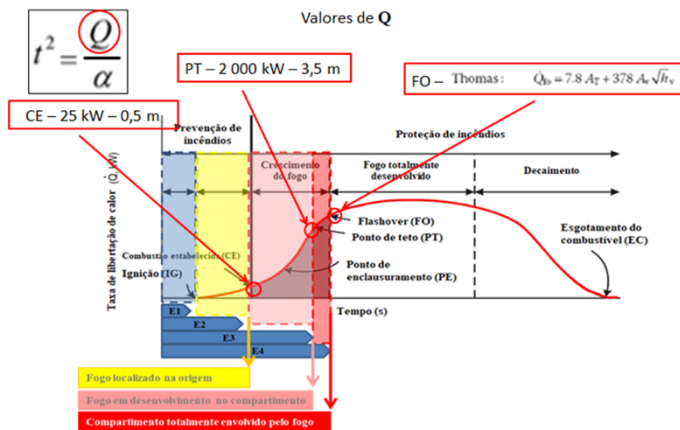
o limite superior desse segmento representado no DID respectivo pela condição de compartimento de origem totalmente desenvolvido.

Partindo do pressuposto que o crescimento do incêndio não é afetado pela configuração do compartimento até ao designado ponto de enclausuramento, o modelo proposto analisa a potencial evolução dos estágios E1 e E2 (ou seja o tempo de crescimento do incêndio até ao designado ponto de combustão estabelecida (PCE) em que se considera que o fogo atinge uma potência de cerca de 25kW ou altura de chama de cerca de 0,5 m) apenas com base nas condições dos conteúdos combustíveis potenciadoras da ignição do incêndio e nas condições para a sua autossustentação. Os fatores de risco de incêndio nesta fase de análise são (1) inflamabilidade dos aglomerados combustíveis de origem da ignição, (2) grau de divisão dos aglomerados combustíveis de origem da ignição e (3) a continuidade da superfície dos aglomerados combustíveis de origem da ignição.

No estágio E3 o crescimento do incêndio até ao designado ponto de teto em que se considera que o incêndio atinge uma potência de cerca de 2 000 kW ou altura de chama de cerca de 3,5 m é analisado e o seu tempo estimado com base nos fatores de risco dos estágios anteriores mais (1) altura do teto e localização do aglomerado combustível de origem da ignição em relação ao teto e paredes, bem como a (3) reação ao fogo dos revestimentos interiores do(s) compartimento(s). Os fatores de risco de incêndio integrados na análise são os que mais contribuem para o processo de crescimento das chamas até as mesmas baterem consistentemente no teto.

No estágio E4 o crescimento do incêndio até ao designado ponto de flashover, em que se considera que o incêndio atinge uma potência dada pela fórmula de Thomas), é analisado e estimado com base nos fatores de risco dos estágios anteriores mais (1) inércia térmica (kpc) dos aglomerados combustíveis existentes no compartimento de origem do incêndio, (2) disposição (distância) dos aglomerados combustíveis nas áreas do compartimento de origem do incêndio, (3) Relação entre o volume do conteúdo combustível de origem e o volume do compartimento e (4) fator de abertura no compartimento para efeito de ventilação

Figura 6 - Estágios de desenvolvimento do incêndio.



Para efeito de modulação e de estimativa da velocidade de crescimento do incêndio, o modelo proposto usa a fórmula constante da figura 6. Na mesma figura estão também definidos os valores de Q assumidos para os limites superiores de cada estágio de desenvolvimento do incêndio. Já o  $\alpha$  pode assumir os valores constantes do quadro 2, os quais são determinados a partir da condição instalada no edifício relativamente aos fatores de risco acima referidos. Estes, quando apresentam um potencial mínimo de crescimento do incêndio assumem o valor 1, eliminando neste caso a possibilidade do fogo se desenvolver para os estágios seguintes. Quando apresentam um potencial máximo de crescimento do incêndio assumem o valor 4, existindo neste caso um potencial máximo de crescimento e propagação do incêndio.

Quadro 2 – Valores que  $\alpha$  pode assumir.

UR	ER	MR	Rápido	Média	Lenta	ML	EL						
0,190	0,120	0,060	0,047	0,038	0,030	0,021	0,012	0,008	0,003	0,0025	0,0020	0,0015	0,0010

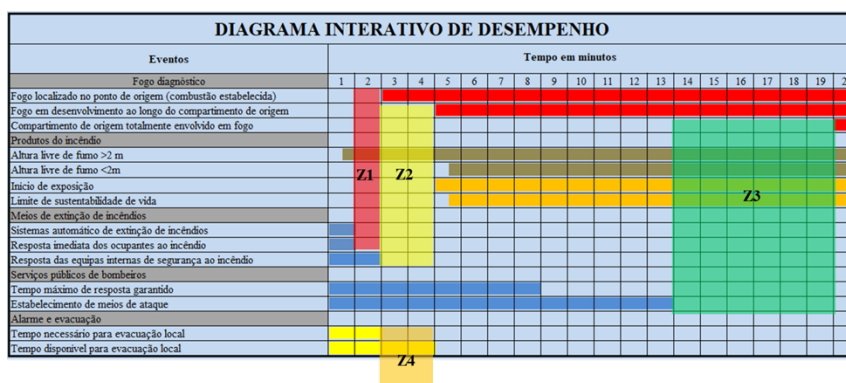
Para além de modular o potencial crescimento do incêndio no compartimento de origem, o modelo proposto permite fazê-lo para além dele, analisando o potencial efeito de dominó entre compartimentos a partir dos fatores de risco dos estágios de desenvolvimento do incêndio, anteriormente referidos, existentes nos compartimentos abrangidos

pela análise de risco. Para efeito de análise de desempenho do edifício o modelo assume o tempo de crescimento do incêndio até ao ponto de teto como “janela” limite para uma evacuação segura do(s) compartimento(s) em análise, considerando esse tempo como Tempo Disponível para a Evacuação Segura (TDES). Em contra ponto, determina o Tempo Necessário para a Evacuação Segura (TNES) a partir do tempo de deteção do alarme, do tempo de pré movimento e do tempo de percurso (fig. 7).

Figura 7 – Metodologia para determinação do TNES

Os Diagramas Interativos de Desempenho (DID) permitem apresentar graficamente um conjunto de dados que ajudam à tomada de decisão relativamente ao controlo do risco de incêndio em edifícios já existentes ou à validação de soluções alternativas de engenharia contra incêndios em edifícios na fase de projeto. Os DID permitem ainda estabelecer Zonas Críticas de Análise (Z1,Z2...Zn) a partir da análise da interatividade, em função do tempo, entre os efeitos produzidos pelo crescimento dos eventos representados pelos cenários de incêndio e o desempenho do edifício e do tipo de ocupação, tendo em conta os limites das condições críticas para os seus ocupantes. Por exemplo, analisando a Figura 8 facilmente se verifica que quanto mais larga for a Z1 mais o sistema tenderá a extinguir o fogo até ele atingir a combustão estabelecida. Da mesma forma, quanto mais larga for a Z2 mais o sistema tenderá a extinguir o incêndio até as chamas atingirem o ponto de teto. Quanto mais larga for a Z3 mais o sistema tenderá a extinguir o incêndio antes de atingir o *flashover*. Quanto mais larga for a Z4 mais o sistema tenderá a garantir a evacuação do edifício em segurança.

Figura 8 – Diagrama dinâmico de interação de desempenho



### 3. CONCLUSÃO

A metodologia de análise de risco de incêndio em edifícios proposto na presente comunicação está a ser sujeito a uma fase de experimentação em campo, sendo já aplicado em edifícios de pelo menos dez tipos de ocupação. Dos resultados obtidos até ao momento pode concluir-se da sua adequabilidade aos diversos tipos de edifício e de ocupações (Condição de aplicação de largo espectro), obtendo resultados consistentes nas diversas avaliações de risco efetuadas. A abordagem holística, conjugada com o processo de estimativa semiquantitativa de risco em função do potencial de falha das componentes consideradas indispensáveis para a segurança contra incêndio, face a cenários de incêndio, permitiram analisar o quanto cada uma dessas componentes contribuíram para o risco global de incêndio em cada uma das avaliações de campo efetuadas. A análise dual de risco de incêndio utiliza uma análise de natureza prescritiva (não tratada no presente artigo) e, de forma redundante, uma análise baseada no desempenho, permitiu verificar por comparação a coerência dos resultados obtidos nas duas dimensões da

análise. Por outro lado, a possibilidade de comparação desses resultados conferiu robustez ao processo de análise. Neste particular, as experiências de campo relevaram a importância desse atributo para reduzir a incerteza do processo de avaliação do risco global de incêndio nos edifícios alvo. Por último, a capacidade de gerar um vasto conjunto de indicadores, designados por indicadores de gestão e de apresentar graficamente a interação entre os cenários de incêndio e o desempenho do edifício, estabelecendo limites para as condições críticas de sustentabilidade de vida dos seus ocupantes, constituem atributos que melhor conferem o risco dinâmico de incêndio. Esses atributos permitem igualmente conferir a regularidade dos resultados do desempenho parcial das diversas componentes da segurança contra incêndios em contra ponto com o resultado do desempenho global do edifício, permitindo confirmar, ou não, a consistência do desempenho. Está ainda em aberto a necessidade de uma aplicação mais ampla e repetida do modelo de análise de risco de incêndio baseada no desempenho a partir de cenários de incêndio, inclusive em contexto multiutilizador.

## REFERÊNCIAS

- [1] Watts, J. M. and Hall, J.R. (2016). Introduction to fire risk analysis, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th ed., Springer, USA, pp 2817-2826.
- [2] Frantzich, H. (1998). Risk analysis and fire safety engineering. Fire Safety Journal, vol. 31, issue 4, pp 313-329.
- [3] Meacham, B. J. (2004). Understanding Risk: Quantification, Perception and Characterization. Journal of Fire Protection Engineering, vol. 14, pp.199-228.
- [4] Martin, M. and Furness, A. (2007). Introduction to Fire Safety Management. Oxford: Elsevier, p. 440.
- [5] Meacham, B. J., Charters, D., and Salisbury, P. J. (2015). Building Fire Risk Analysis. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th ed., Springer, USA, pp. 2941-2991.
- [6] Semit, E. D. (2007). FRAME, Fire Risk Assessment Method for Engineering, France.
- [7] Fitzgerald, R. W. and Meacham, B. J. (2017). Fire Performance Analysis for Buildings, 2nd ed., Wiley, USA, 640 p.
- [8] Brannigan, V. M. (2000). Fire Scenarios Or Scenario Fires? Can Fire Safety Science Provide The Critical Inputs For Performance Based Fire Safety Analyses? Proceedings of the 6th International Symposium on Fire Safety. International Association for Fire Safety Science, France, pp. 207-218.
- [9] Society of Fire Protection Engineers (2007). Guide to Performance-Based Fire Protection. Society of Fire Protection Engineers and National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA, 207 p.
- [10] NFPA 101 (2018). Life Safety Code. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, USA, pp. 42-43.
- [11] Hurley, M. J., & Bukowski, R. W. (2008). Fire Hazard Analysis Techniques. *Fire Protection Handbook*, 2008, p.121-134.
- [12] ICC (2005). International Fire Engineering Guidelines. International Code Council, Washington, DC, 415 p.
- [13] Mehaffey, J. R. & Hadjisophocleous, G. (2016). Fire Scenarios. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th ed., Springer, USA, pp. 1262 - 1288.
- [14] ISO 16733-1. (2015), Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires — Part 1: Selection of design fire scenarios, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 31p.
- [15] Hadjisophocleous, G. V., & Yung, e. D. (1999). A Description of the Probabilistic and Deterministic. *Internat. Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, pp.18-26.

## **AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO: MÉTODO DE GRETENER APLICADO AO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**

**Gabriela Dalfollo  
Brackmann\***  
Estudante de  
Mestrado  
UFSM – Santa  
Maria, Brasil

**Amanda Laura  
Pires**  
Engenheira Civil  
Porto Alegre, Brasil

**Larissa  
Degliuomini  
Kirchhof**  
Professora  
UFSM – Santa  
Maria, Brasil

**Rogério Cattelan  
Antocheves de  
Lima**  
Professor  
UFSM – Santa  
Maria, Brasil

### **SUMÁRIO**

As regulamentações de segurança contra incêndio vigentes no Brasil ainda apresentam caráter demasiadamente prescritivo, deixando de lado novas soluções que poderiam ser adotadas, como métodos internacionais que valorizam as particularidades de cada edificação e oferecem soluções alternativas sem diminuir a segurança resultante. Assim, o presente trabalho se propõe a aplicar o Método de Gretener, que possui caráter semiquantitativo, em um estudo de caso a ser conduzido no Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com o objetivo de realizar um levantamento dos fatores que representam risco efetivo de incêndio e comparar ao risco aceitável, por meio do coeficiente de segurança contra incêndio proposto pelo método.

**PALAVRAS-CHAVE:** análise de risco de incêndio; Método de Gretener; segurança contra incêndio.

### **1. INTRODUÇÃO**

A incidência frequente de incêndios tem mostrado o quanto o Brasil ainda é vulnerável à ocorrência de sinistros. Em especial, no estado do Rio Grande do Sul, o tema passou a ser fortemente debatido após o incêndio ocorrido na Boate Kiss em 2013 que impulsionou a elaboração e atualização de normas técnicas e adaptações das legislações vigentes, no sentido de torná-las mais rígidas a fim de proporcionar maior segurança à sociedade. Entretanto, as regulamentações vigentes se mostram de caráter demasiadamente prescritivo, deixando de lado novas soluções que poderiam ser adotadas, como métodos internacionais que valorizam as particularidades de cada edificação e oferecem soluções alternativas sem diminuir a segurança resultante. Dentre esses métodos, destaca-se o Método de Gretener [1], que possui caráter semiquantitativo e avalia as formas de propagação de um incêndio, as medidas de proteção adotadas e as probabilidades de ocorrência de um sinistro. Dessa forma, o presente trabalho se propõe a aplicar o Método de Gretener em um estudo de caso a ser conduzido no Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com o objetivo de realizar um levantamento dos fatores que representam risco efetivo de incêndio ( $R$ ) ao Centro de Tecnologia da UFSM e comparar ao risco aceitável ( $R_u$ ), por meio do coeficiente de segurança contra incêndio ( $\gamma$ ) proposto pelo método [1]. Caso o resultado obtido seja insuficiente ( $\gamma < 1$ ), serão propostas melhorias visando garantir a segurança dos ocupantes e da edificação.

## 2. METODOLOGIA

O Método de Gretener implicitamente considera que algumas regras gerais de segurança estão sendo atendidas, tais como as distâncias de segurança entre edifícios vizinhos, saídas de evacuação, iluminação e sinalização de emergência, assim como instalações técnicas de acordo com as normas técnicas vigentes. Para o cálculo do risco efetivo de incêndio (R), é necessário analisar 5 parâmetros: o primeiro classifica a edificação conforme o tipo de construção: Z, G ou V, de acordo com a facilidade de propagação do fogo. Os outros parâmetros necessários para o cálculo do risco efetivo de incêndio são: Perigos Potenciais (P), Medidas de Proteção (M), Perigo de Ativação (A) e Fator de Exposição Ao Perigo (B). Visando facilitar o entendimento da metodologia proposta pelo Método de Gretener, elaborou-se o fluxograma apresentado na Figura 1, que contém os parâmetros anteriormente mencionados, bem como demonstra seus fatores de cálculo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Caracterização

O Centro de Tecnologia da UFSM é composto por 5 prédios, construídos em anos distintos e com usos variados. O prédio principal (nº 7) data sua inauguração de 1960 e é composto por salas de aulas, salas de professores, coordenações de curso, departamentos, além de conter a Direção do CT e contar com um restaurante que atende à toda unidade. O prédio 10, de 1979, é destinado a laboratórios de pesquisa, além de possuir algumas salas de aula destinadas à pós-graduação e salas de professores. Os prédios 9A, 9B e 9C foram construídos visando expandir o CT e suas inaugurações datam de 2013. Os prédios 9A e 9C são formados por salas de aulas e salas de professores, além disso o prédio 9C abriga a Biblioteca Setorial do Centro de Tecnologia. O prédio 9B é destinado à microeletrônica; os ambientes são utilizados como laboratórios de circuitos elétricos e salas informatizadas para pesquisa, além de salas de professores. Os prédios 9A, 9B e 9C são interligados ao edifício principal por meio de passarelas de acesso no segundo pavimento. Considerando que todas as ligações verticais são abertas, não havendo nenhum tipo de compartimentação que garanta o isolamento ou a proteção contra incêndio, todas as edificações foram classificadas como do Tipo V. Na sequência serão apresentados os parâmetros analisados para o cálculo do risco efetivo de incêndio (R).

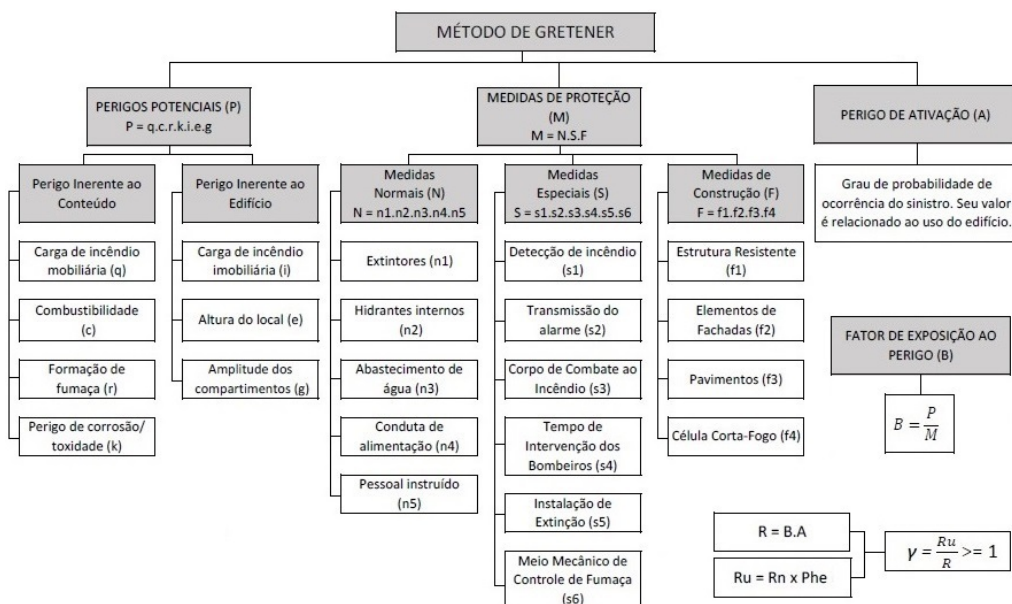


Figura 20: Fluxograma explicativo do Método de Gretener

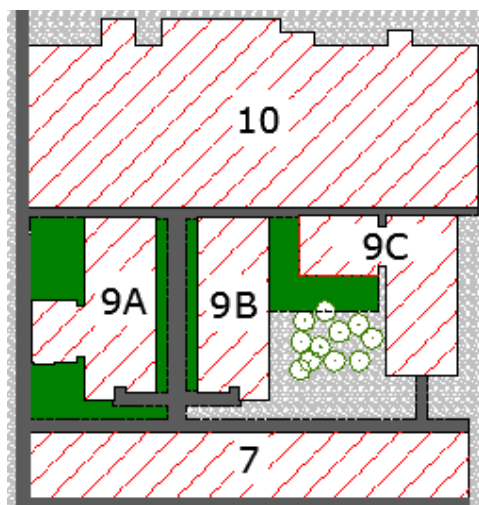


Figura 21: Esboço em planta dos prédios do Centro de Tecnologia da UFSM

### 3.2 Definição dos perigos potenciais (P)

Os perigos potenciais (P) resultam da multiplicação de sete fatores, envolvendo os perigos inerentes ao conteúdo e os perigos inerentes ao edifício. São eles: carga de incêndio mobiliária ( $q$ ), combustibilidade ( $c$ ), formação de fumaça ( $r$ ), perigo de corrosão/toxicidade ( $k$ ), carga de incêndio imobiliária ( $f$ ), altura do local ( $e$ ) e amplitude do compartimento ( $g$ ).

As cargas de incêndio mobiliárias são retiradas do Anexo 1 do manual de aplicação do Método de Gretener [1]. Para construções do tipo V, a maneira correta de avaliar este parâmetro é somar todas as cargas de incêndio mobiliária dos pavimentos ( $Q_m$ ), multiplicar pela sua área, e dividir pela área de maior risco. Com esta interpretação, a área de maior risco será em todas as situações a do pavimento térreo. Para os prédios 7 e 9A,  $Q_m$  foi considerado como 300MJ/m<sup>2</sup>, referente a uma escola; o prédio 7 ainda inclui um restaurante. Para o prédio 9C, embora a maioria da área também se enquadre como escola, a biblioteca situada no térreo da edificação indica um  $Q_m$  superior, com 2.000MJ/m<sup>2</sup>. O prédio 9B se difere dos anteriores por ter salas informatizadas e laboratórios de circuitos elétricos. Assim, foi classificado pelo uso de aparelhos elétricos e eletrônicos, com  $Q_m$  avaliado em 400MJ/m<sup>2</sup>. Por fim, o prédio 10 inclui uma variada quantidade de insumos, com valores de  $Q_m$  muito superiores aos das demais edificações.

No segundo pavimento do prédio 10 e circulações em geral, onde ficam localizadas as salas de professores e salas de aula da pós-graduação,  $Q_m$  foi considerado como 300MJ/m<sup>2</sup>, se enquadrando na categoria escola. A partir dos valores de carga de incêndio mobiliária, é possível, por meio da Tabela 6 do método [1], obter o fator de carga de incêndio mobiliária ( $q$ ). Assim, para os prédios 7, 9A e 9B,  $q = 1,5$ . Para o prédio 9C,  $q = 1,6$  e para o prédio 10,  $q = 1,7$ , indicando possuir a maior carga de incêndio mobiliária.

Em relação à combustibilidade, os prédios 7, 9A e 9C obtiveram  $c = 1,0$ , portanto, classificados como incombustíveis. O prédio 9B obteve  $c = 1,2$ , decorrente da armazenagem de aparelhos eletroeletrônicos, representando médio perigo de combustão. O prédio 10 resultou em  $c = 1,6$ , indicando alto grau de combustibilidade, justificado pelo uso de cilindros de acetileno e substâncias químicas.

Quanto ao parâmetro formação de fumaça, os prédios 7, 9A e 9C obtiveram  $r = 1,0$ , ou seja, classificado como perigo normal. Os prédios 9B e 10 obtiveram  $r = 1,2$ , indicando grande perigo, com produção de fumaça intensa durante a combustão, que se justifica pelo uso de materiais eletroeletrônicos (9B) e pela armazenagem de revestimentos asfálticos e óleos combustíveis (10).

Com referência ao perigo de corrosão/toxidade, nos prédios 7, 9A e 9C,  $k = 1,0$ , portanto, classificado como normal. Nos prédios 9B e 10,  $k = 1,2$ , devido ao uso de materiais eletroeletrônicos no prédio 9B e pela ocupação de laboratórios de química, hidráulica e a existência de transformadores no prédio 10, caracterizando grande perigo.

O fator  $i$ , que avalia a carga de incêndio imobiliária, foi considerado igual a 1,0 para os prédios 7, 9A, 9B e 9C, uma vez que as características construtivas indicam estrutura resistente em concreto armado, paredes em alvenaria e elementos de fachada incombustíveis. Para o prédio 10, porém, o fator  $i$  foi avaliado como 1,1, pois este não possui laje de cobertura em grande parte dos ambientes, deixando a estrutura de madeira do telhado exposta e muito próxima aos cabeamentos elétricos do local.

O fator  $e$ , referente ao nível do andar ou altura útil do local, foi definido para os prédios segundo a cota E do pavimento de maior risco analisado, já que o pé direito em todas as situações ultrapassa 3 m. Em edificações do tipo V, considera-se o pavimento térreo como o de maior risco. Assim, da Tabela 13 do método [1], obtêm-se o fator  $e$  igual a 1,0 para todos os prédios.

O fator  $g$ , denominado amplitude da superfície, para edificações do tipo V deve ser calculado segundo o andar de maior superfície. Uma vez que os prédios não são exatamente retangulares, foram encontradas medidas diferentes de largura e comprimento em uma mesma edificação. As dimensões consideradas, então, foram aquelas que geram a pior situação possível, ou seja, a maior relação comprimento/largura, o que dificulta o acesso dos bombeiros ao local. Assim, como apresenta a Tabela 1, a multiplicação dos valores referentes ao comprimento ( $l$ ) e à largura ( $b$ ) resultam em AB, mas a área utilizada para a entrada dos dados foi a área real do maior pavimento. Os valores do fator  $g$  foram retirados da Tabela 14 do Método de Gretener [1] e interpolados, quando necessário.

Tabela 1: Relação comprimento/largura e superfície do compartimento de incêndio

Prédio	l (m)	b (m)	(l/b)	AB (m <sup>2</sup> )	Área real do maior pavimento (m <sup>2</sup> )
7	122,81	16,10	7,63	1977,16	2155,29
9A	51,05	17,00	3,00	867,85	1072,77
9B	50,80	17,00	2,99	863,60	850,45
9C	44,43	17,31	2,57	769,08	1200,97
10	125,98	45,55	2,77	5738,16	6119,96

### 3.3 Definição das medidas de proteção (M)

As medidas de proteção dividem-se em medidas normais, especiais e inerentes à construção.

#### 3.3.1 Medidas normais (N)

As medidas normais (N) resultam da multiplicação de cinco fatores. São eles: extintores portáteis ( $n_1$ ), hidrantes internos ( $n_2$ ), fiabilidade do sistema de abastecimento de água ( $n_3$ ), comprimento da condução de alimentação ( $n_4$ ) e pessoal instruído ( $n_5$ ).

O parâmetro  $n_1$  deve ser avaliado segundo as normas vigentes. Para tal, foi utilizada a Resolução Técnica CBMRS n°14 [2]. Embora todos os extintores estivessem dentro da validade e atestados com selo do INMETRO, a capacidade extintora necessária afim de suprir os riscos existentes, foi avaliada como insuficiente, exceto para o prédio 9C. O fato decorre da falta de extintores da Classe A. Em alguns andares, eles são inexistentes e, em outros, não atendem ao raio de proteção. Dessa forma,  $n_1$  foi considerado igual a 1,0 (suficiente) apenas para o prédio 9C; para os demais prédios, o parâmetro foi adotado como 0,9 (insuficiente).

O parâmetro  $n_2$  avalia os hidrantes internos. As condições de vazão e pressão dos hidrantes não puderam ser confirmados visto que nunca foram utilizados ou testados e os projetos são pouco informativos. E, mesmo considerando que eles atendam as condições de vazão e pressão exigidas pela legislação, após o levantamento *in loco*, foi constatado que nenhum dos hidrantes internos possui esguicho, essencial para o funcionamento dos hidrantes. Ademais, vários abrigos estavam vazios ou emperrados. Para todas as edificações,  $n_2 = 0,80$ .

O parâmetro  $n_3$  analisa a fiabilidade do sistema de abastecimento, se referindo aos hidrantes públicos. Embora não exista rede pública de água abastecendo o Centro de Tecnologia, há um reservatório central de 500 m<sup>3</sup> que alimenta, por meio de uma tubulação de 200 mm, um hidrante subterrâneo para uso exclusivo do caminhão do Corpo de Bombeiros. No entanto, atualmente o hidrante está desativado devido a problemas na canalização. Nesse caso, será considerada a pior situação, em que  $n_3 = 0,50$ , para todas as edificações.

O parâmetro  $n_4$  diz respeito ao comprimento da conduta de transporte necessário entre o hidrante público e a entrada mais próxima ao edifício. As distâncias, medidas conforme a planta do Plano Diretor de Redes da UFSM, fornecida pela Pró-Reitoria de Infraestrutura (PROINFA), variam de 58 a 160m. Para as edificações de comprimento de conduta inferior a 70m,  $n_4 = 1,0$  (prédio 9A), para distâncias entre 70 e 100m,  $n_4 = 0,95$  (prédios 7 e 9B) e acima de 100m,  $n_4 = 0,90$  (prédios 9C e 10).

O parâmetro  $n_5$  verifica a existência de pessoal instruído para manuseio dos equipamentos de segurança contra incêndio. Como no Centro de Tecnologia não há um número suficiente de pessoas treinadas, de acordo com a Resolução Técnica nº014/BM-CCB [3], o parâmetro  $n_5$  foi considerado como 0,80 para todas as edificações, indicando a inexistência de pessoas treinadas a serviço da segurança contra incêndio.

### 3.3.2 Medidas especiais (S)

Em relação às medidas especiais de proteção (S), o resultado depende da multiplicação de seis fatores. São eles: detecção de incêndio ( $s_1$ ), transmissão do alerta ( $s_2$ ), corpo de combate ao incêndio ( $s_3$ ), tempo de intervenção ( $s_4$ ), instalação de extinção ( $s_5$ ) e controle de fumaça ( $s_6$ ).

A detecção de incêndio, parâmetro  $s_1$ , é assegurada por meio de vigilantes de uma empresa terceirizada, não havendo nenhum tipo de detecção automática de incêndio. Apenas o prédio 9C possui central de alarme, no entanto, é necessário que alguém o acione. Para os demais edifícios, os vigilantes devem mandar o alerta por rádio transmissor ou celular pessoal. Dessa forma, em todos os casos, o parâmetro  $s_1$  foi adotado igual a 1,10.

A transmissão do alerta, parâmetro  $s_2$ , considera a existência de um posto para recebimento do chamado de socorro. Considerando que a vigilância ao entorno dos edifícios é de 24 horas e os guardas tem a possibilidade de enviar o alerta através de rádio transmissor para a central de monitoriamente de segurança da UFSM, ocupada em permanência por, pelo menos, duas pessoas,  $s_2$  foi adotado igual a 1,10, para todas as edificações.

O parâmetro  $s_3$  se refere às características do escalão de profissionais responsáveis pela unidade em estudo. No caso de Santa Maria, os atendimentos às ocorrências são realizados exclusivamente pelos Bombeiros Profissionais. Estes possuem três quartéis distribuídos entre a zona urbana protegida, ocupados em permanência, viaturas próprias e os equipamentos necessários para enfrentar os riscos existentes em uma situação de incêndio. Portanto,  $s_3$  foi considerado igual a 1,60 para todas as edificações em estudo.

Quanto ao tempo de intervenção  $s_4$ , foi considerada a unidade do Corpo de Bombeiros do bairro Camobi, localizada a 1 km do Centro de Tecnologia, para uma primeira intervenção. Logo, o tempo estimado para que os bombeiros cheguem ao local é inferior a 15 min, equivalente a  $s_4 = 1,00$ . Visto que não existe, em nenhuma das edificações, instalações de extinção como sprinklers, nem instalação de controle de fumaça, os parâmetros  $s_5$  e  $s_6$  foram adotados iguais a 1,00.

### 3.3.3 Medidas inerentes à construção (F)

As medidas inerentes à construção (F) resultam da multiplicação de quatro fatores, os quais ponderam quanto à resistência ao fogo dos elementos da construção. São eles: estrutura resistente ( $f_1$ ), elementos de fachadas ( $f_2$ ), pavimentos ( $f_3$ ) e células corta-fogo ( $f_4$ ).

A estrutura resistente, parâmetro  $f_1$ , avalia a resistência das vigas, pilares e paredes. Para todos os edifícios o valor de  $f_1$  foi definido como 1,30, visto que a estrutura é em concreto armado e, portanto, incombustível, e as paredes em alvenaria de vedação, apresentando resistência ao fogo superior a 60 min.

O parâmetro  $f_2$  é definido pela análise da resistência das fachadas. As fachadas são em alvenaria e as esquadrias de ferro ou alumínio, não havendo elementos em madeira ou outros materiais combustíveis. No entanto, o método [1] explica que a porcentagem das janelas também deve ser avaliada, ao mesmo tempo em que não indica em quanto esta porcentagem influencia no valor final de  $f_2$ . Dessa forma, verificando que em todos os prédios, pelo menos, duas fachadas possuem grande área de janelas, optou-se por considerar  $f_2$  igual a 1,10.

O parâmetro  $f_3$  quantifica a separação entre os andares, referente aos elementos horizontais e verticais de separação. Tem-se que, em todos os casos, as construções são do tipo V com ligações verticais desprotegidas (escadas abertas e sem nenhum tipo de instalação de extinção ao fogo), logo, independente da separação horizontal, o valor de  $f_3$  é igual a 1,00.

O parâmetro  $f_4$  faz uma relação entre a área das janelas e a área das células corta-fogo. As características de uma célula corta-fogo define um ambiente de área inferior a 200 m<sup>2</sup> com portas de acesso com resistência ao fogo T30. Logo, embora as alvenarias apresentem resistência superior a 30 min e os cômodos tenham área menor que 200 m<sup>2</sup>, não há nenhuma informação quanto à resistência das portas, que visualmente são em madeira comum. Assim, não foi considerada a existência de células corta-fogo em nenhum dos edifícios, resultando em  $f_4 = 1,00$ .

### 3.4 Fator de exposição ao perigo (B)

O fator de exposição ao perigo resulta da razão entre os perigos potenciais (P) e as medidas de proteção (M). O maior fator de exposição ao perigo foi encontrado no prédio 10, devido ao fato de que além de apresentar uso/ocupação de materiais com características mais facilmente combustíveis, a amplitude da superfície (fator  $g$ ) influencia fortemente no resultado. Este parâmetro, mais do que os outros, se destaca por ser significativamente superior no prédio 10 do que nos demais.

### 3.5 Perigo de ativação (A)

O fator A é uma medida do perigo de ativação tendo em vista a probabilidade de ocorrência de um incêndio. Segundo análise do Apêndice 1 e da Tabela 18 do Método de Gretener [1], o perigo de ativação para os prédios 7, 9A, 9B e 9C foi adotado como 0,85, o que indica um baixo perigo de ativação. Para o prédio 10, devido a diversidade de usos e ocupações, cada qual com um perigo de ativação distinto, foi adotado um valor intermediário de 1,0.

### 3.6 Cálculo do risco de incêndio efetivo (R), do risco de incêndio admissível (Ru) e do coeficiente de segurança contra incêndio ( $\gamma$ )

O cálculo do risco efetivo de incêndio (R) consiste no produto do fator de exposição ao perigo (B) pelo perigo de ativação (A). Já o risco de incêndio admissível (Ru) é calculado pelo produto entre o risco normal de incêndio ( $R_n = 1,3$ ) e o fator de correção  $P_{HE}$ . O fator de correção deve ser retirado da Tabela 19 do Método de Gretener [1], conforme a categoria de exposição ao perigo das pessoas ( $p$ ) e do nível do pavimento crítico analisado. Para os edifícios classificados como escola, como os prédios 7, 9A e 9C,  $p = 1$ . Para outros casos, a orientação do método é consultar o seu Apêndice 1 e, caso não haja indicação de categoria a classificar, como foi a situação encontrada para os prédios 9B e 10, considerar  $P_{HE}$  igual a 1,0. Para construções do tipo V, o pavimento crítico analisado é o térreo, portanto o valor de  $P_{HE}$  para os prédios 7, 9A e 9C é igual a 1,0. O coeficiente de segurança contra incêndio ( $\gamma$ ) resulta do quociente entre o risco de incêndio admissível (Ru) e o risco de incêndio efetivo (R). A segurança contra incêndio é suficiente se  $\gamma \geq 1$  e insuficiente se  $\gamma < 1$ .

### 3.7 Resultados

Todos os valores envolvidos no cálculo dos parâmetros do Método de Gretener são apresentados na Tabela 2, de onde constata-se que dos cinco prédios que compõem o Centro de Tecnologia da UFSM, apenas os prédios 9A e 9C apresentam coeficientes de segurança contra incêndio suficientes para o risco ser considerado aceitável. Nos demais prédios (7, 9B e 10), a segurança contra incêndio é considerada insuficiente, devido, principalmente, ao não cumprimento das medidas normais de proteção.

Tabela 2: Planilha de cálculo do Método de Gretener

Edifício: Centro de Tecnologia		Tipo de Construção: V					
Localização: Av. Roraima - Universidade Federal de Santa Maria							
Parâmetros do método		Prédios					
		7	9A	9B	9C	10	
Perigos Potenciais	Conteúdo	Qm (MJ/m <sup>2</sup> )	988,69	900	1200	1244,2	2050,6
		Carga de incêndio mobiliária (fator q)	1,50	1,50	1,50	1,60	1,70
		Combustibilidade (fator c)	1,00	1,00	1,20	1,00	1,60
		Formação de fumaça (fator r)	1,00	1,00	1,20	1,00	1,20
		Perigo de corrosão/toxidade (fator k)	1,00	1,00	1,20	1,00	1,20
	Edifício	Carga de incêndio imobiliária (fator i)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,10
		Altura do local (fator e)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		Amplitude do compartimento (fator g)	0,88	0,56	0,49	0,65	1,68
<b>PERIGOS POTENCIAIS (P)</b>		<b>1,32</b>	<b>0,84</b>	<b>1,27</b>	<b>1,04</b>	<b>7,24</b>	
Medidas de Proteção	Normais	Extintores portáteis (n <sub>1</sub> )	0,90	0,90	0,90	1,00	0,90
		Hidrantes internos (n <sub>2</sub> )	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
		Abastecimento de água (n <sub>3</sub> )	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
		Condução de alimentação (n <sub>4</sub> )	0,95	1,00	0,95	0,90	0,90
		Pessoal instruído (n <sub>5</sub> )	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	<b>N =</b>		<b>0,27</b>	<b>0,29</b>	<b>0,27</b>	<b>0,29</b>	<b>0,26</b>
	Especiais	Detecção de incêndio (s <sub>1</sub> )	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
		Transmissão do alerta (s <sub>2</sub> )	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
		Corpo de combate ao incêndio (s <sub>3</sub> )	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
		Tempo de intervenção (s <sub>4</sub> )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		Instalação de extinção (s <sub>5</sub> )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		Controle de fumaça (s <sub>6</sub> )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	<b>S =</b>		<b>1,94</b>	<b>1,94</b>	<b>1,94</b>	<b>1,94</b>	<b>1,94</b>
	Construtivas	Estrutura resistente (f <sub>1</sub> )	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
Elementos de fachadas (f <sub>2</sub> )		1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	
Pavimentos (f <sub>3</sub> )		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Células corta-fogo (f <sub>4</sub> )		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
<b>F =</b>		<b>1,43</b>	<b>1,43</b>	<b>1,43</b>	<b>1,43</b>	<b>1,43</b>	
<b>MEDIDAS DE PROTEÇÃO (M)</b>		<b>0,76</b>	<b>0,80</b>	<b>0,76</b>	<b>0,80</b>	<b>0,72</b>	
<b>FATOR DE EXPOSIÇÃO AO PERIGO (B)</b>		1,74	1,05	1,68	1,30	10,09	
<b>PERIGO DE ATIVAÇÃO (A)</b>		0,85	0,85	0,85	0,85	1,00	
<b>RISCO DE INCÊNDIO EFETIVO (R)</b>		1,48	0,90	1,43	1,11	10,09	
<b>PHE</b>		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
<b>RISCO DE INCÊNDIO ADMISSÍVEL (Ru)</b>		1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	
<b>COEFICIENTE DE SCI (γ)</b>		<b>0,88</b>	<b>1,45</b>	<b>0,91</b>	<b>1,17</b>	<b>0,13</b>	

Para adequar essas edificações a um risco de incêndio considerado aceitável é necessário que exista uma melhoria nas instalações dos extintores portáteis e dos hidrantes internos, bem como haver capacitação de pessoal treinado suficiente para atender o CT. Apenas com essas modificações, os prédios 7 e 9B já atingem um coeficiente

de segurança contra incêndio superior a 1,0, considerado aceitável. Para o prédio 10, além das medidas normais, é necessária a adoção de algumas medidas especiais de proteção, como a instalação de *sprinklers*, e redução da quantidade de materiais combustíveis armazenados, diminuindo a carga de incêndio mobiliário (**Qm**). Simulando-se uma nova situação, considerando todas as alterações propostas, o novo coeficiente de segurança contra incêndio de todas as edificações se torna superior a 1,0, indicando construções suficientemente seguras.

#### **4. CONCLUSÕES**

A avaliação de risco de incêndio indicou um risco aceitável nos prédios 9A e 9C, enquanto que os prédios 7, 9B e 10 apresentaram um risco superior ao aceitável, indicando segurança contra incêndio insuficiente. Nesses casos, o não cumprimento das medidas normais de proteção foi um dos principais responsáveis pelo resultado negativo obtido, e a simples melhoria nos extintores, hidrantes e capacitação de pessoal treinado já seria suficiente para atingir um coeficiente de segurança aceitável nos prédios 7 e 9B. Além disso, para o prédio 10 também seria necessário a instalação de *sprinklers* e a redução da carga de incêndio. Entretanto, salienta-se que a utilização do Método de Gretener não exclui a importância das legislações vigentes de segurança contra incêndio, sendo eles processos complementares que otimizam a segurança nas edificações.

#### **AGRADECIMENTOS**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida no âmbito do Programa Jovens Talentos Para a Ciência.

#### **REFERÊNCIAS**

- [1] SIA. Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos. *Avaliação do Risco de Incêndio: Método de Cálculo*, tradução pelo Instituto Técnico de Lisboa da publicação em alemão, 2004, 57 p.
- [2] Secretaria de Segurança Pública do Estado do Rio Grande do Sul, Comando do Corpo de Bombeiros. Resolução Técnica CBMRS nº14 (2016). Extintores de Incêndio. Porto Alegre, RS, 11 abr. 2016.
- [3] Secretaria de Segurança Pública do Estado do Rio Grande do Sul, Comando do Corpo de Bombeiros. Resolução Técnica nº014/BM-CCB (2009). Treinamento de Prevenção e Combate a Incêndios – TPCI. Porto Alegre, RS, 23 jul. 2009.

# ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO NA IGREJA MATRIZ DE PIRENÓPOLIS/GO – UM ESTUDO DE CASO

**Bernardete de Lourdes Ferreira Minervino<sup>##</sup>**  
Doutoranda  
UC - Coimbra

**Cristina Calmeiro dos Santos**  
Professora Adjunta  
Instituto Politécnico de Castelo Branco

**João Paulo Correia Rodrigues**  
Professor  
UC - Coimbra

**Paulo Gustavo von Krüger**  
Professor  
UFMG – Belo Horizonte/BR

## SUMÁRIO

O artigo trata da aplicação do método de Análise de Risco de Incêndio Global à Igreja Nossa Senhora do Rosário – Pirenópolis/GO. O método foi aplicado considerando as características da edificação em 2002 (antes do incêndio) e em 2020. A comparação entre os resultados indica quais melhorias foram aplicadas nas medidas de segurança contra incêndio e o quanto tais medidas impactam no resultado final da análise de risco.

**PALAVRAS CHAVE:** Análise de Risco; Incêndio, Preservação de Patrimônio Histórico.

## 1. INTRODUÇÃO

A Igreja Matriz de Nossa Senhora do Rosário, em Pirenópolis/GO, é uma edificação construída em 1791, símbolo da expansão da colonização no interior do Brasil e tesouro histórico e religioso. Tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) desde 1941, sofreu um incêndio generalizado em setembro de 2002, logo após ter passado por um processo de restauração. A reconstrução durou quatro anos (2003-2006) e primou pela preservação das características originais da edificação.

## 2. DESENVOLVIMENTO

A arquitetura da igreja matriz consiste em duas torres localizadas na fachada frontal, uma grande nave central com a capela mor e o altar ao fundo e duas alas laterais à capela mor, destinadas a sacristia e consistório. Há ainda um mezanino instalado na fachada principal, destinado ao coro da igreja e uma sala em cima do depósito nos fundos, com acesso pela ala lateral do consistório, onde se localiza um pequeno museu de artefatos históricos da cidade de Pirenópolis (Figura 1). No entanto, o isolamento entre estas partes é feito apenas por meio de portas de madeira, sendo, portanto, considerados como ambientes não isolados entre si.

---

<sup>##</sup> Bernardete de Lourdes Ferreira Minervino – Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra/Portugal.  
e-mail: guinevere@gmail.com / bel@minervino.net

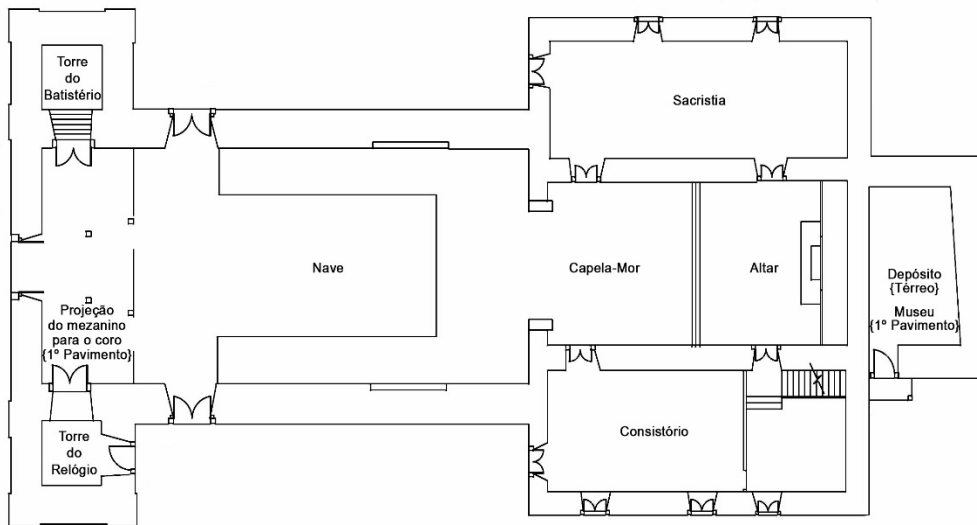


Figura 22: Planta baixa da Igreja Matriz de Pirenópolis/GO.

**2.1. A edificação antes do incêndio**A Igreja Matriz de Pirenópolis foi erguida recorrendo à técnica de construção conhecida como 'taipa de pilão' que consiste em paredes de grande espessura feitas de terra compactada. Esta técnica era amplamente utilizada no Brasil colonial, por ser barata, durável, utilizar material de fácil aquisição e prover um bom isolamento termoacústico após a construção.

Desde a sua construção a igreja passou por algumas reformas de pouco impacto, mas houve desgaste ao longo do tempo e ao longo do uso da edificação. Uma grande restauração foi realizada entre os anos de 1996 e 1999, por uma equipe multidisciplinar formada por arquitetos, engenheiros e restauradores, utilizando mão de obra local, para devolver à edificação a beleza dos tempos passados (Figura 2).

As falhas de estrutura foram corrigidas, buracos nas paredes foram preenchidos com enxerto de tijolos maciços travados entre si, além de trançados de arame farpado para garantir maior aderência dos enxertos às paredes pré-existentes. As gaiolas de madeira das fachadas foram restauradas e cantoneiras metálicas foram introduzidas para reforçar a estrutura. O piso, forro e demais peças de madeira passaram por tratamento contra o ataque de agentes predadores. O telhado recebeu uma camada de feltro asfáltico, instalada entre o forro de madeira e as telhas de cobertura, para aumentar a impermeabilização [1].



Figura 23: Fachada principal da Igreja Matriz de Pirenópolis/GO.

## 2.2. O incêndio

O incêndio ocorreu na noite do dia 5 de setembro de 2002. Nesta época não havia ainda um quartel do corpo de bombeiros na cidade. Foram os próprios moradores que identificaram o incêndio, tentaram combatê-lo, sem sucesso, e arrombaram as portas da igreja para salvar as peças de arte que estavam em seu interior [2].

O incêndio consumiu todo o telhado e o interior da igreja, além dos objetos de arte e decoração que não puderam ser retirados, restando apenas as paredes internas e externas (Figura 3).

## 2.3. A edificação depois do incêndio

A reconstrução da Igreja Matriz (2003-2006) foi realizada por uma equipe multidisciplinar, sob orientação do IPHAN. Todo o trabalho de restauração antes do incêndio foi perdido e precisou ser refeito. Não foram instalados novos sistemas de proteção contra incêndio. Como a edificação já era tombada pelo IPHAN, mudanças estruturais não foram permitidas. Ainda assim, é preciso planejar sistemas de saída, sinalização e iluminação de emergência, extintores de incêndio e o devido controle dos materiais de acabamento.

Adequar estas medidas à legislação de segurança contra incêndio local não requer alterações na estrutura da edificação, uma vez que os sistemas de extintores, iluminação e sinalização de emergência são móveis, as saídas de emergência só precisam ter o sentido de abertura das portas invertido e o controle de material de acabamento consiste no tratamento antichamas para maior proteção contra incêndio. No entanto, tais medidas não foram instaladas corretamente e, até o ano de 2020, nenhum projeto de incêndio foi aprovado junto ao corpo de bombeiros local (CBMGO)<sup>§§§</sup> [3].

---

<sup>§§§</sup> Corpo de Bombeiros Militar do Goiás, órgão responsável pela normatização das medidas de segurança contra incêndio, bem como pelo combate a incêndios no estado do Goiás.



Figura 24: Estrutura da Igreja Matriz de Pirenópolis/GO, após o incêndio de 2002, vista da fachada posterior.

#### **2.4. Aplicação do método de Análise de Risco Global de Incêndio**

O método escolhido para aplicação na edificação foi o de Análise de Risco Global de Incêndio. Publicado em 2006, na coleção Cadernos Técnicos do IPHAN, foi desenvolvido com foco na análise de edificações históricas, construídas antes do advento das legislações de prevenção contra incêndio. Tais edificações não permitem grandes mudanças ou interferências estruturais em favor da segurança contra incêndio e, ao mesmo tempo, possuem valor histórico e cultural agregado, que implica em uma preocupação maior com as consequências das possíveis perdas causadas pelo fogo.

Foram comparadas duas situações: a situação 1 considera as características da edificação antes do incêndio de 2002, porém já com a restauração concluída, e a situação 2 considera as características atuais da edificação, após o processo de reconstrução. O método de Análise de Risco Global de Incêndio é aplicado em seis etapas de avaliação: o levantamento de dados, a determinação da exposição de risco de incêndio, a determinação da segurança, a determinação dos riscos de ativação, o cálculo do risco global de incêndio e a análise de segurança [4]. A Figura 2 apresenta a planilha de cálculo utilizada na análise das duas situações considerada para a edificação.

Análise Global de Risco de Incêndio											
Cálculo de Risco											
Edificação: Igreja Matriz de Pirenópolis/GO (Paróquia Nossa Senhora do Rosário)											
Localização: Largo do Rosário, s/n (Praça da Matriz – Pirenópolis – GO)							Tipo		V		
densidade de carga incêndio		Q	200	MJ/m <sup>2</sup>	profundidade do piso de subsolo			S	-	m	
altura do compartimento		H	12	m	distância do corpo de bombeiros			D	0,8	km	
fatores de exposição ao risco		Situação 1		Situação 2		fatores de exposição ao risco		Situação 1		Situação 2	
densidade de carga incêndio		f1	1,10	f1	1,10	condições de acesso		f4	1,90	f4	1,00
altura do compartimento		f2	1,50	f2	1,50	perigo de generalização		f5	1,50	f5	1,50
profundidade do piso de subsolo		f2		f2		importância específica		f6	1,70	f6	1,70
distância do corpo de bombeiros		f3	4,00	f3	1,00	Coeficiente de exposição		E	31,977	E	4,2075
Medidas de Segurança											
Descrição		Situação		1	2	Descrição		Situação		1	2
alarme de incêndio manual		s1				hidrantes - reservatório particular		s10			
detector de calor e fumaça		s2				reserva de água		s11			
detector de calor/fumaça automático		s3				resistência ao fogo ≥ 30 min		s12			
aparelhos extintores		s4			1	resistência ao fogo ≥ 60 min		s13			
sistema fixo de gases		s5				resistência ao fogo ≥ 90 min		s14			
brigada de incêndio - plantão de expediente		s6				resistência ao fogo ≥ 120 min		s15		4	4
brigada de incêndio - plantão permanente		s7				planta de risco		s16			
chuveiros automáticos internos		s8a				plano de prevenção		s17			
chuveiros automáticos externos		s8b				plano de escape		s18			
hidrantes - reservatório público		s9				sinalização das saídas		s19		1	1
								Situação 1		Situação 2	
Coeficiente de Segurança								S	4	4	
risco de ativação devido à natureza da ocupação								A1	1	1	
risco de ativação devido a falha humana								A2	1,75	1	
riscos decorrentes das instalações								A3	1,25	1,25	
riscos devido a fenômenos naturais								A4	1,5	1,5	
Risco de Ativação								A	1,75	1,5	
Risco Global de Incêndio								R	55,95975	6,31125	
Coeficiente de Segurança								γ	0,071479948	0,633788869	

Figura 25 – Planilha de cálculo do método de análise de risco global de incêndio.

Tanto o processo de restauração (1996-1998) quanto o processo de reconstrução (2003-2006) buscaram preservar ao máximo as características originais da edificação. As paredes foram completadas e reconstruídas em seu tamanho e localização originais e o tratamento antichamas foi aplicado na madeira utilizada no piso, no teto e nos ornamentos nas duas intervenções. No entanto, intervenções para implementação de sistemas de combate a incêndio, como hidrantes de parede ou chuveiros automáticos alterariam as características arquitetônicas da edificação.

Considerando o tombamento da igreja como patrimônio histórico e cultural, qualquer mudança poderia comprometer o seu valor histórico. As medidas comprovadamente adotadas foram a instalação de um hidrante urbano ao lado da edificação e a construção de um quartel do corpo de bombeiros na cidade, situado a 800 metros de distância da Igreja Matriz, com bombeiros em prontidão permanente\*\*\*\*.

O CBMGO realiza vistorias técnicas anuais para verificar a segurança contra incêndio. O laudo de vistoria mais recente é o de 2019†††† e nele constam as exigências para o sistema de saídas de emergência, iluminação de emergência, sinalização de emergência, extintores de incêndio e a comprovação do controle dos materiais de acabamento [5].

\*\*\*\* Equipes de bombeiros disponíveis para socorro imediato 24 horas por dia, inclusive nos fins de semana.

†††† A vistoria de 2020 não foi realizada devido à pandemia de COVID-19.

De acordo com a legislação estadual, a edificação não tem obrigatoriedade de ter sistema de alarme, proteção contra descargas atmosféricas, chuveiros automáticos ou de exaustão de fumaça [6] e nenhum destes sistemas está instalado na edificação [7].

## 2.5. Comparação dos resultados

Os resultados encontrados na aplicação do mesmo método nas duas situações, edificação em 2002 e edificação em 2020, mostra que houve um crescimento no índice do coeficiente de segurança ( $\gamma$ ). O resultado foi de  $\gamma = 0,07148$  para a situação 1 (edificação em 2002) e o resultado encontrado para a situação 2 (edificação em 2020) foi de  $\gamma = 0,633789$  (Quadro 1).

Quadro 1: Comparação de resultados das análises da edificação em 2002 e em 2020

Índices Calculados	Situação 1	Situação 2
Coefficiente de exposição ao risco de incêndio	E = 31,977	E = 4,2075
Coefficiente de segurança	S = 4	S = 4
Risco de ativação	A = 1,75	A = 1,5
Risco global de incêndio	R = 55,95975	R = 6,31125
Coefficiente de segurança	$\gamma = 0,07148$	$\gamma = 0,633789$

O método de análise de risco global de incêndio faz uma análise do resultado do coeficiente de segurança, considerando como parâmetro mínimo quando o resultado é igual a 1. O resultado de  $\gamma$  igual a 1 significa afirmar que as condições de segurança são equivalentes ao risco. O resultado de  $\gamma$  menor do que 1 indica que o risco global de incêndio é maior do que o coeficiente das medidas de segurança.

A aplicação do método nas duas situações mostra que, após o incêndio, alguns parâmetros foram modificados causando um aumento de 887% no coeficiente de segurança. No entanto, apesar de o resultado ter sido mais bem avaliado, ainda não atinge o mínimo de segurança proposto pelo método,  $\gamma = 1$ .

O que mudou desde o incêndio de 2002 foram dois fatores principais. Existe agora um hidrante urbano ao lado da edificação, com suprimento constante de água fornecido pela distribuidora local. Este parâmetro corresponde ao fator  $f_4$  no método e indica que a edificação tem ao menos três fachadas acessíveis (o que já era realidade na situação 1) e um hidrante urbano próximo à edificação (que foi instalado após o incêndio de 2002). Assim, o fator  $f_4$  diminuiu seu valor de coeficiente de 1,90 na (situação 1) para 1,00 (na situação 2).

Depois do incêndio de 2002, diante da grande perda causada pelo incidente, a cidade de Pirenópolis inaugurou um quartel do corpo de bombeiros, situado a 800 metros de distância da Igreja Matriz, com equipes de plantão disponíveis 24 horas por dia, além de viaturas especializadas em combate a incêndio. Este parâmetro corresponde ao fator  $f_3$  no método e indica a distância do corpo de bombeiros. O fator  $f_3$  diminuiu o valor do seu coeficiente de 4,00 (situação 1) para 1,00 (situação 2).

Os sistemas de prevenção e combate a incêndio instalados na edificação não mudaram muito após a reconstrução. Hoje estão presentes sinalização de emergência, iluminação de emergência, extintores de incêndio e saídas de emergência. No entanto, de acordo com o laudo de vistoria do corpo de bombeiros datado de 2019, os sistemas não estão de acordo com as normas vigentes. Conforme é previsto no manual de aplicação do método de análise de risco global, os sistemas de segurança contra incêndio só devem ser considerados se estiverem corretamente dimensionados e mantidos.

Foi feita uma visita técnica à sede da Igreja Matriz, para verificar as condições de instalação e manutenção dos sistemas de segurança contra incêndio [7]. O Quadro 2 mostra o parecer tanto da vistoria técnica realizada pelo corpo de bombeiros em 2019, quanto as observações da própria pesquisadora, feitas em 2020.

Quadro 2: Análise do corpo de bombeiros e da pesquisadora quanto aos sistemas da edificação

Medidas de segurança contra incêndio	Exigências do corpo de bombeiros (CBMGO) <sup>###</sup>	Análise da pesquisadora (vistoria <i>in loco</i> ) <sup>§§§§</sup>
Sistema de iluminação de emergência	Instalar ou manter o sistema de iluminação	Havia alguns blocos autônomos instalados, porém, mal posicionados, instalados na altura errada e eram insuficientes para toda a edificação
Sistema de sinalização de emergência	Construir rota de fuga, com a sinalização de saída de emergência, orientando a evacuação rápida e segura de pessoas	Não havia placas de sinalização para indicar as saídas de emergência nem para indicar a localização dos extintores de incêndio
Sistema de extintores de incêndio	Realizar a manutenção ou recarga nos extintores que necessitarem	Extintores faltando em alguns locais (suportes vazios) e com a carga extintora inadequada (somente BC), não tendo extintores para material combustível de classe A
Instalações elétricas	Apresentar a documentação de responsabilidade técnica, com parecer sobre a manutenção das instalações elétricas	Há vários defletores posicionados para garantir a iluminação para as atividades noturnas, também foram verificadas gambiarras e extensões fora do padrão técnico e o sistema de SPDA é inexistente

### 3. CONCLUSÃO

Não houve mudança nas condições de segurança contra incêndio por parte da edificação desde o incêndio de 2002. O aumento no coeficiente de segurança se deve à instalação de um quartel do corpo de bombeiros com capacidade para pronto atendimento, caso ocorra outro incêndio, e de um hidrante urbano próximo à edificação.

Embora a exigência estadual para a edificação seja apenas dos sistemas de saída de emergência, iluminação, sinalização, extintores e controle de material de acabamento, a importância histórica da edificação implica na necessidade de se aumentar o grau de proteção contra incêndio. Não basta apenas cumprir o mínimo exigido em norma, mas também é preciso garantir que as perdas do incêndio de 2002 não se repitam.

As características originais da edificação foram reconstruídas após o incêndio, mas isso custou tempo e investimento financeiro. Algumas peças foram perdidas para sempre e o que se salvou, foi devido à iniciativa de alguns moradores que enfrentaram as chamas para salvar algumas peças de arte e ornamentação durante o incêndio, sob o risco de se machucarem gravemente [2].

Ainda na época da reconstrução após o incêndio (2003-2006) as normativas de segurança contra incêndio não eram rígidas, e assim permanecem até os dias atuais, respeitando a data de construção da edificação. A norma técnica de proteção contra incêndio exige apenas os quatro sistemas considerados básicos (saída de emergência, iluminação, sinalização e extintores), além do controle da combustibilidade dos materiais de acabamento.

Embora as normas técnicas exijam o mínimo de segurança aceitável para que a edificação possa ser utilizada, isso não significa que este mínimo seja, necessariamente, o ideal. Quanto maior for a preocupação com os perigos e as perdas decorrentes de um incêndio, maiores devem ser as medidas para evitá-lo.

O valor histórico da Igreja Matriz de Pirenópolis não é questionado nem por moradores, nem por visitantes, nem pelas autoridades, mas é negligenciado por todos estes. O risco de um novo incêndio é real e presente e o que aumenta as chances de um combate a incêndio com sucesso é a presença constante do corpo de bombeiros. No

<sup>###</sup> Laudo de vistoria técnica do Corpo de Bombeiros Militar do Goiás (CBMGO), datado de 27/2/2019.

<sup>§§§§</sup> Visita técnica à sede da Igreja Matriz de Pirenópolis, realizada pela pesquisadora em 5/12/2020.

entanto, medidas de segurança podem e devem ser tomadas para evitar o princípio de incêndio ou a sua generalização, pois o risco de um novo desastre acontecer permanece real.

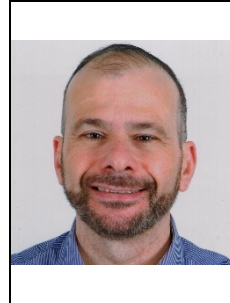
## REFERÊNCIAS

- [1] Wolney; Cavalcante, Silvio. *Fênix: Restauo da Igreja Matriz de Pirenópolis*. Goiânia: ICBC. 2008.
- [2] Entrevista realizada com o Pe. Augusto Gonçalves Pereira, pároco da Igreja Nossa Senhora do Rosário (Igreja Matriz de Pirenópolis) e responsável pela sua administração e manutenção, em 5 de dezembro de 2020. Contato: psenhorarosario@gmail.com
- [3] Entrevista realizada com o 1º Ten QOC Cristiano Severino de Carvalho, subcomandante do 17º Batalhão bombeiro Militar/Pirenópolis/GO
- [4] Gouveia Antônio Maria Claret. *Análise de Risco de Incêndio em Sítios Históricos // Cadernos Técnicos 5*. - Brasília/BR : IPHAN/Monumenta, 2006.
- [5] Laudo de exigências de vistoria técnica produzido pelo Corpo de Bombeiros Militar do Goiás em 2019.
- [6] CBMGO. Norma Técnica 41/2016 – Edificações Existentes: adaptação às normas de segurança contra incêndio e pânico. 2016
- [7] Visita técnica realizada pela própria pesquisado à sede da Igreja Nossa Senhora do Rosário (Igreja Matriz) em Pirenópolis/GO, no dia 5/12/2020
- [8] Pacheco, Carla Freitas. *Levantamento Arquitetônico – Projeto de Restauração*. Igreja Nossa Senhora do Rosário – Matriz de Pirenópolis – Goiás. Projectus Ltda. Levantamento: out 2003 - atualização: jun 2007

## SISTEMAS HIDRÁULICOS PARA PROTEÇÃO ATIVA DE EDÍFÍCIOS INDUSTRIAIS EM ZONAS DE INTERFACE INDUSTRIAL FLORESTAL



**Deives Junior de Paula \*\*\*\***  
Investigador  
UC – Portugal  
IPT – Brasil



**João Paulo Correia Rodrigues**  
Professor  
UC – Portugal

### SUMÁRIO

O incêndio representa um dos eventos mais danosos à vida e à natureza, podendo provocar tanto perda de vidas humanas, de fauna e de flora nas florestas, e da destruição do património e de sítios ambientais e/ou arqueológicos. Em relação aos incêndios que ocorrem na interface industrial florestal, tais eventos podem resultar em grandes perdas e sérias consequências ao desenvolvimento da região e do país, como a interrupção de empresas e sua atividade produtiva, o massivo desemprego e prejuízos econômicos significativos. Os sistemas fixos de combate a incêndio com água, como é o caso dos sistemas de chuveiros automáticos e dos sistemas de água nebulizada podem ser configurados para atuar dentro dos edifícios e suas áreas de risco no controle e/ou supressão de incêndio e podem ser dimensionados de para proteger a envoltória dos edifícios industriais.

As características da carga de incêndio na interface industrial florestal, associadas à natureza da vegetação limítrofe à propriedade e seu potencial de contribuir com o desenvolvimento propagação do incêndio, e as características dos materiais utilizados na construção do edifício que fazem interface com esta vegetação, são questões que podem influenciar no dimensionamento das proteções na envolvente externa dos edifícios.

O objetivo deste artigo é de explorar as possibilidades para proteção da envolvente externa dos edifícios industriais submetidos ao risco de incêndio florestal, com a utilização de medidas ativas de proteção combinadas com as características da compartimentação horizontal presente na edificação.

**Palavras chave:** chuveiros automáticos; incêndio; interface industrial florestal; edifícios industriais

---

\*\*\*\*Deives Junior de Paula – Universidade de Coimbra, Portugal, e-mail: uc2020138722@student.uc.pt

## 1. INTRODUÇÃO

O incêndio representa um dos eventos mais danosos à vida e à natureza, podendo provocar tanto a perda de vidas humanas, de fauna e de flora nas florestas, e da destruição do patrimônio e de sítios ambientais e/ou arqueológicos. Em relação aos incêndios que ocorrem na interface industrial florestal, tais eventos podem resultar em grandes perdas e sérias consequências ao desenvolvimento da região e do país, como a interrupção de empresas e sua atividade produtiva, o massivo desemprego e prejuízos econômicos significativos.

Segundo McNamee *et. al* [1] com base nas discussões feitas pelo comitê gestor da International Association of Fire Safety Science (IAFSS), descreve-se a necessidade do desenvolvimento de investigações em algumas áreas temáticas da Engenharia de Segurança ao Incêndio para os próximos 20 anos, onde destacou-se a importância do entendimento dos incêndios nas zonas de interface de forma que as edificações se tornem mais resilientes.

Manzello *et al.* [2] expõe que a propagação do incêndio na interface urbano florestal é um problema multidimensional, tornando-o um fenômeno mais complexo do que o incêndio em edifícios ou o estudo da propagação de incêndios florestais e embora as causas iniciais de grandes incêndios urbanos sejam variadas, há semelhanças na propagação subsequente do incêndio. Destaca que estes incêndios afetam o revestimento externo e seus elementos estruturais, em contraste com as ocorrências dos incêndios no interior dos edifícios, em que a intervenção da brigada ocorre durante o incêndio já desenvolvido contido no interior da estrutura do edifício. Ainda, relata que existem várias técnicas para a mitigação inicial do incêndio, como o uso de espumas, de gel e de revestimentos destinados a reduzir ignição da estrutura, e que as investigações são necessárias para mensurar o desempenho destas técnicas considerando exposições padronizadas e representativas de incêndios nas zonas de interface urbano florestal.

Na interface industrial florestal, as características da carga de incêndio associadas à natureza da vegetação (tipo de vegetação, altura, afastamento e adensamento) e a proximidade desta com o edifício industrial tem o potencial de contribuir com o início e o desenvolvimento do incêndio na envolvente externa destes edifícios.

Nas envolventes externas dos edifícios, ou seja, nas paredes de fachada e nas coberturas destes, as características de reação ao fogo dos materiais utilizados precisam funcionar como medidas passivas contra a ação dos incêndios, limitando a sua propagação inicial, e apresentar comportamento no sentido de evitar, ou de retardar ao máximo, que o incêndio avance ao interior do edifício industrial. Neste sentido, a avaliação por ensaios em escala real tem a sua importância para avaliar o comportamento ao fogo de paredes de fachada, sendo que se encontram disponíveis, pelo menos, 15 diferentes métodos desenvolvidos por diferentes instituições, com diferentes procedimentos, requisitos e critérios de avaliação, citados por Cancelliere *et al.* [3]. A Comunidade Europeia [4] apresentou o desenvolvimento de uma proposta de método de ensaio em escala real, visando a harmonização dos requisitos e critérios para avaliação do comportamento ao fogo em paredes de fachada, considerando as normas técnicas BS-8414-1[5], BS-8414-2[6] e DIN-4102-20[7]. Ainda, neste mesmo estudo, está apresentada a configuração da exposição ao calor para os sistemas de parede de fachada em cada método de ensaio, onde a série de normas BS-8414 define que a exposição ao calor a 1 m de altura da fonte de calor deve ser da ordem de 45-95 kW/m<sup>2</sup>, durante o período de 20 min, mantendo um fluxo de calor médio de 75 kW/m<sup>2</sup> a esta altura e, para a norma DIN-4102-20, define-se que a exposição ao calor deve ser de 25, 35 e 60 kW/m<sup>2</sup> nas alturas de 1,5 m, 1,0 m e 0,5 m da fonte calor, durante 21 min, respectivamente.

Existem situações em que os edifícios à época de sua instalação, não tenham sido concebidos, ou tampouco avaliados, considerando a situação aqui colocada e podem não ter condições adequadas de atuarem de forma automática ou por intervenção manual à uma situação real de incêndio externo. Consideremos ainda que tais edifícios, pela natureza de sua carga de incêndio em função de sua atividade, não estejam enquadrados em uma categoria de risco que seja obrigatório protegê-la internamente por sistema automático para o combate ao incêndio, como por exemplo, um sistema de proteção contra incêndio por chuveiros automáticos.

Entretanto, o fluxo de calor radiante utilizado nos métodos de avaliação de paredes de fachada considera a exposição severa do sistema construtivo a uma situação inicial de incêndio inicial em período inferior a 30 min, e que geralmente são situações de incêndio em zonas urbanas. Entretanto, nas zonas de interface industrial florestal, este fluxo de calor pode atingir valores significativos na envoltória dos edifícios industriais quando estes forem submetidos incêndios florestais.

Ou seja, se há o potencial risco da ocorrência do incêndio florestal e de que os materiais utilizados na construção das fachadas e da coberturas possam contribuir significativamente para o início e crescimento do incêndio para o interior do edifício, temos uma situação particular que merece a atenção, a qual a proteção da envoltória da edificação e de sua estrutura com sistemas ativos para o combate inicial ao incêndio na zona de interface pode ser uma alternativa como medida de primeira intervenção ao combate ao incêndio.

## 2. SISTEMAS HIDRÁULICOS COMO MEDIDA DE COMBATE AOS INCÊNDIOS EXTERNOS ÀS EDIFICAÇÕES

A água é amplamente utilizada como agente extintor em função de seu desempenho adequado na supressão dos incêndios. As propriedades térmicas da água proporcionam uma condição adequada como agente extintor que pode ser utilizada na grande maioria dos incêndios, quer seja para a reduzir o calor proveniente das chamas, reduzir os produtos (ou gases) quentes da combustão ou de reduzir o calor na superfície do combustível. A mudança de fase de água líquida para a fase de vapor é particularmente eficaz na redução de energia térmica e na produção de grande quantidade de vapor d'água, a qual pode contribuir significativamente para a extinção de incêndios, reduzindo a concentração de oxigênio da atmosfera circundante, situação em que geralmente o fogo ficará confinado [8].

O uso da água sob a forma de jato sólido ou de jato em leque (spray) tem a sua eficácia reconhecida no combate aos incêndios Classe A [8], amplamente utilizada em diversas normas técnicas internacionais reconhecidas de sistemas de combate ao incêndio, e tais incêndios envolvem materiais sólidos que queimam em superfície, com materiais de natureza orgânica (compostos de carbono) e sua combustão geralmente formam de brasas incandescentes, sendo um tipo de incêndio muito comum no interior das edificações.

O sistema de proteção contra incêndio por chuveiros automáticos é uma medida ativa de proteção contra o incêndio em que a água é lançada em spray e, em relação a outras tecnologias para supressão e controle de incêndios, é amplamente utilizada nas edificações de médio e alto risco de incêndio. A NFPA 13 [9] define que o sistema de proteção contra incêndio por chuveiros automáticos consiste de uma rede de tubulações dimensionada conforme padrões de engenharia, a qual inclui a fonte de abastecimento de água, válvula de controle de água, alarme de fluxo de água, dreno e os chuveiros automáticos instalados. A parte aérea do sistema de chuveiros automáticos inclui a distribuição da rede de tubulação no edifício afixada nas estruturas ou em determinada área a ser protegida, geralmente suspensas, e os chuveiros automáticos são instalados na rede atendendo a um padrão sistêmico de cobertura. Este sistema geralmente é ativado pelo calor de um incêndio, e após a abertura do elemento termossensível do chuveiro automático, descarrega a água sobre a área deste incêndio. A Figura 1 apresenta um esquema típico de instalação para um sistema de proteção por chuveiros automáticos.

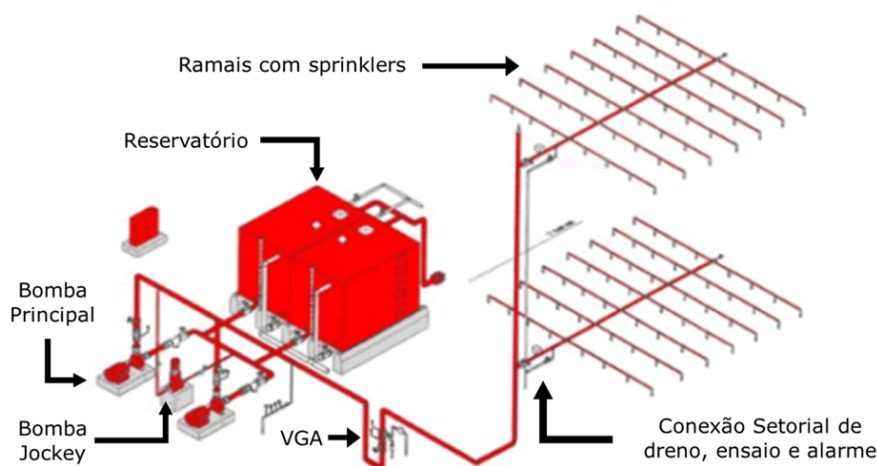


Figura 1 – Esquema básico de um sistema de proteção contra incêndio por chuveiros automáticos, do tipo tubo molhado para proteção de ambientes industriais. Fonte: <http://www.skop.com.br/2019/10/09/chave-de-fluxo-caracteristicas-tecnicas-aplicacao-e-dicas-de-instalacao/>.

A eficácia dos sistemas de proteção por chuveiros automáticos é comprovada por meio da análise das ocorrências de incêndios em que os chuveiros automáticos tiveram êxito na supressão e/ou no controle do incêndio. Frank *et. al* [10] consolidou tais resultados, cujos valores variam de 86 a 98,8% de eficácia no controle e/ou supressão de incêndios, obtidos nas estatísticas de incêndios dos Estados Unidos, Reino Unido, Austrália e Nova Zelândia, demonstrando um alto nível de confiabilidade deste sistema para a proteção do risco de incêndio nas edificações. Ressalta-se que o desempenho dos sistemas de chuveiros automáticos depende de alguns fatores essenciais, como o tipo de chuveiro automático e suas características, a idade do sistema e sua degradação ao longo do tempo; a realização das ações de inspeção, testes e manutenção periódicas; os padrões e tecnologias disponíveis na ocasião da instalação; modificações na edificação ou no risco a ser protegido; o projeto arquitetônico da edificação; influência de outras utilidades (p. ex. sistemas de aquecimento e de ventilação) e a modificação do suprimento de água.

Foi discutido por Kim, Taber e Lougheed [11] o uso de chuveiros automáticos e sua influência no desempenho da compartimentação horizontal das paredes de fachada envidraçadas, como uma alternativa ao uso de paredes de vedação não estruturais com classificação de 60 min de resistência ao fogo, submetidas à ação de incêndio externo à edificação. Observou-se nos experimentos desta investigação que o uso de chuveiros automáticos com sistema de tubo molhado, instalado no exterior e logo acima da parede de fachada envidraçada, operaram em tempo adequado para protegê-la contra a ação do incêndio no exterior, durante 60 min de exposição ao fogo. O cenário que representou esta situação considerou a exposição ao fogo na base parede de fachada (a 0,5 m abaixo da parede) de forma equivalente aos ensaios de comportamento ao fogo em escala real, com um fluxo de calor de 45 kW/m<sup>2</sup> e o desenvolvimento da pluma de fogo diretamente sobre a fachada envidraçada. Em duas das treze situações experimentais desta investigação (uma com fachada envidraçada com dimensões de 2,6 m de altura e 1,5 m de largura e outra com dimensões de 1,5 m de altura e 2,6 m de largura) o chuveiro automático instalado apenas na face externa, ao centro da fachada e abaixo 0,5 m do seu topo, contribuiu para que a parede mantivesse a sua integridade, considerando um único chuveiro automático, de resposta padrão, com coeficiente de descarga (Fator K) de 79,7 (L/min).bar<sup>1/2</sup>, temperatura de operação de 74 °C. resultando na descarga de água de 104,5 L/min na pressão de 172 kPa, aproximadamente.

A característica do manto florestal exterior às edificações e dos materiais de construção utilizados nos edifícios enquadram-se como incêndio Classe A e por esta razão os sistemas hidráulicos de proteção contra incêndio têm sua relevância na proteção dos edifícios industriais. Tendo em conta a prerrogativa de protegermos a envoltória dos edifícios industriais contra os efeitos nocivos dos incêndios externos, existem recomendações disponíveis para a proteção da envolvente exterior as quais utilizam sistemas hidráulicos de combate ao incêndio.

A norma técnica proprietária FM DS 9-19: Wildland Fire [12] possui recomendações para proteção de propriedades comerciais e industriais contra a ação de incêndios florestais. Destaca-se a aplicação desta em regiões com grandes extensões de vegetação e condições climáticas nas quais incluem períodos de pouca chuva, que no inverno o clima é mais frio e úmido e no verão mais quente e seco, com pouca ou nenhuma chuva por dois a três meses. Podemos citar algumas localidades com tais características, como o sul da Austrália, a região oeste dos Estados Unidos, Portugal, Espanha, Grécia e o sul da França. A citada norma destaca que o incêndio florestal é uma ameaça quando a propriedade industrial estiver cercada por arbustos, floresta, grama ou plantações e o edifício ali inserido esteja localizado adjacente à zona de interface industrial florestal. Em sua abordagem recomenda que a edificação possa ser protegida por um sistema de chuveiros automáticos na envolvente exterior com base no potencial fluxo de calor radiante de um incêndio florestal e seu afastamento crítico com o manto florestal. Caso o edifício esteja afastado a 100 m da floresta ou do bosque e/ou a 30 m de arbustos ou de pastagens; em que a declividade do manto florestal adjacente seja superior a 20 graus; ou o edifício estiver afastado a 200 m da floresta ou bosque e/ou a 60 m de arbustos ou pastagens, deve-se avaliar e quantificar o potencial fluxo de calor irradiado pela floresta. Deve-se determinar o afastamento horizontal em todas as direções de exposição das paredes de fachada do edifício, e caracterizar a direção predominante de exposição ao fogo com base em dados estatísticos regionais sobre a ocorrência de incêndios florestais na região. A Figura 2 apresenta um exemplo de situação de como os sistemas de chuveiros automáticos podem ser inseridos para a proteção da envolvente externa, em função do posicionamento do edifício em relação à floresta.

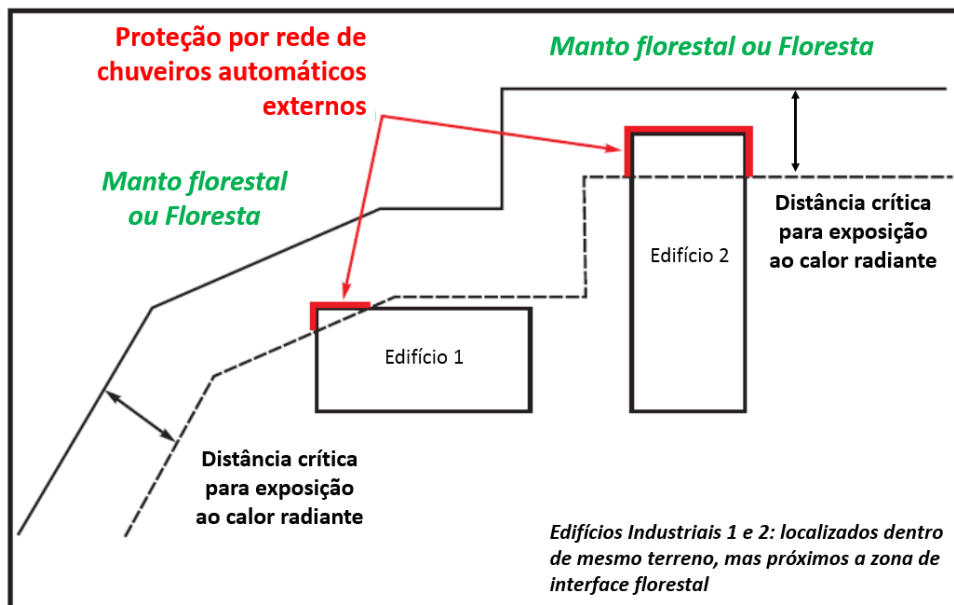


Figura 2 – Exemplo de posicionamento do sistema de chuveiros automáticos na envolvente externa dos edifícios industriais (extraído e adaptado na norma FM 9-9 [12]).

Para avaliação do afastamento com o manto florestal a FM DS 9-9[12] propõe a classificação da vegetação envolvente, deixando claro que as situações que podem ser caracterizadas como exposição ao incêndio florestal. Com base no afastamento do edifício com a vegetação envolvente, que é a distância crítica para exposição ao calor radiante, da classificação da vegetação e da declividade do terreno, obtêm-se a estimativa do fluxo de calor radiante na envolvente externa do edifício, podendo variar de 12,5 kW/m<sup>2</sup> a 50 kW/m<sup>2</sup> e tem como critério de que as paredes de fachada na envolvente externa classificadas como não combustíveis podem suportar até 30 kW/m<sup>2</sup> e que as classificadas como combustíveis podem suportar o fluxo de calor de até 12,5 kW/m<sup>2</sup>,

Caso o valor do fluxo de calor radiante estimado na envolvente florestal seja superior ao da classificação da parede de fachada, existem três possibilidades de ajuste da proteção na envolvente do edifício:

- i. aumentar o distanciamento da vegetação envolvente com a zona industrial, reduzindo a carga de incêndio na envolvente exterior;
- ii. substituir a parede de fachada existente por outra que tenha o desempenho capaz de suportar a exposição ao calor radiante estimado e;
- iii. instalar o sistema de chuveiros automáticos para proteção da envolvente externa do edifício.

Quando não for possível resolver por meio dos itens i) e ii) acima, utiliza-se a alternativa de proteção com o sistema de chuveiros na envolvente externa. O caudal estimado por chuveiro automático da envolvente externa pode ser obtido na Tabela 2 da FM DS 9-9[12], em função da natureza do material da parede de fachada (combustível ou não combustível), de sua altura, do fluxo de calor externo e do espaçamento entre chuveiros. Como ordem de grandeza, o valor do caudal por chuveiro automático com espaçamentos de 1,8 m entre chuveiros, pode variar de 38,9 a 92,5 L/min e quando este espaçamento se amplia para 3,7 m, o valor do caudal pode variar de 70 a 166,5 L/min. Ou seja, o espaçamento entre chuveiros definirá o coeficiente de descarga (Fator K) em função da pressão de trabalho adotada para o sistema para uma determinada área de operação.

Com relação a configuração construtiva dos chuveiros automáticos para esta situação, este deve ser do tipo lateral vertical (sidewall vertical) com orientação em pé ou pendente, de resposta rápida e temperatura nominal de operação de 72°C.

Quanto às recomendações para o chuveiro automático, este deve ser instalado na rede hidráulica da envolvente exterior, com afastamento de 150 a 300 mm da parede, com o defletor posicionado na direção da parede externa

e o elemento termossensível visível à provável fonte de calor radiante. O trecho da rede hidráulica externa voltada à proteção contra a exposição ao incêndio florestal não deve ser superior a 75 m de comprimento, de forma a limitar o comprimento da rede hidráulica exposta a ação do incêndio externo. Caso exista a possibilidade de exposição ao incêndio florestal em duas ou mais direções, deve ser avaliada cada direção separadamente em relação ao número de chuveiros automáticos que podem entrar em operação.

Tais recomendações da norma FM DS 9-9 não são restritas apenas aos parâmetros e configurações do sistema hidráulicos no local de exposição ao incêndio, mas leva-se em conta uma abordagem integrada, que envolve características de como deve ser o armazenamento de água para o combate e sua quantidade, de como deve ser protegida a casa de bomba contra a ação destes incêndios, qual o tipo de conjunto hidropressor e sua fonte de alimentação para operação, e de fatores que envolve a resposta dos ocupantes perante fontes de ignição e da capacidade de resposta à emergências da brigada de incêndio do edifício industrial.

Os sistemas de água nebulizada (ou dilúvio), também conhecidos como sistemas de water spray e segundo a NFPA 15 [13], são compostos por uma rede de distribuição hidráulica conectada a uma fonte de suprimento de água e com projetores instalados à esta rede, de forma a fornecer uma descarga de água específica em região a ser protegida. Tais sistemas podem ser acionados de forma automática ou de forma manual, pela brigada de incêndio e geralmente são constituídos de uma rede hidráulica com chuveiros abertos (não automáticos), dispostos com determinado espaçamento e orientação de instalação em rede hidráulica, onde os chuveiros realizam a aspersão de água de forma simultânea sob determinada região a ser protegida contra a ação do incêndio. A forma e a velocidade de aspersão dos chuveiros sob a área de cobertura dependem da abordagem utilizada no dimensionamento do sistema.

Podem ser utilizados para proteção de área de armazenagem, instalações ou equipamentos contra a ação de incêndios, como é caso dos riscos de sistemas e de instalações elétricas de alta e média tensão, como transformadores, interruptores de óleo, motores, bandejas de cabos e suas passagens; combustíveis sólidos comuns, como papel, madeira e têxteis; substâncias líquidas e gasosas inflamáveis; determinados tipos de materiais sólidos perigosos, como propelentes e pirotécnicos e na mitigação de vapor.

As Figuras 3 e 4 apresentam alguns exemplos de sistemas de água nebulizada em ambientes industriais.



Figuras 3 e 4 - Sistemas do tipo water spray para proteção contra incêndio de um transformador em indústria (à esquerda) e para proteção de cilindro de armazenagem de gás liquefeito de petróleo (à direita). Fonte:

<https://accuro.at/en/solutions/water-spray-extinguishing-systems> e  
<https://www.youtube.com/watch?v=lkoiRV8TRa4>

De forma distinta dos sistemas de chuveiros automáticos e de água nebulizada, os sistemas de proteção contra incêndio por névoa de água (water mist) são tratados na norma NFPA 750 [14] como uma rede de distribuição, conectado a um suprimento de água e dispositivos de atomização de água, e equipados com um ou mais aspersores capazes de fornecer névoa de água destinada a controlar, suprimir ou extinguir incêndios, e que atenda aos requisitos de desempenho definidos para a aplicação a qual foi testada ou certificada em laboratório. A sua utilização destes sistemas é considerada na proteção de compartimentos com riscos específicos, como por exemplo casa de máquinas em embarcações, data-centers, museus, sistemas de cocção em ambiente industrial,

que pela aspersão da água no ambiente em forma de névoa existe reduz-se o risco de danificar os ativos presentes no interior do compartimento protegido pela água.

Entretanto, não se encontram muitos estudos sobre a aplicação desta tecnologia como alternativa de proteção da envolvente externa de edifícios, em função de sua própria natureza de operação, sendo geralmente considerada para proteção de compartimentos isolados. Os sistemas de água em névoa diferem em relação aos sistemas de chuveiros automáticos, basicamente, pela dimensão das partículas de água que são lançadas pelos projetores, formando uma névoa d'água no ambiente protegido, diferentemente do sistema de chuveiros automáticos, que promoverá a aspersão de um spray (leque) de água no ambiente em que está ocorrendo o incêndio. Existem diversos aspetos técnicos que os sistemas de água em névoa são distintos dos sistemas de chuveiros automáticos, como por exemplo as pressões de trabalho da rede hidráulica, características dos conjuntos hidropressores, os tipos de aspersores e suas características intrínsecas de operação, entre outras.

Sob o ponto de vista de combate pontual com a brigada de incêndio, há os sistemas hidráulicos de primeira e de segunda intervenção cuja definição destes depende de qual é o seu propósito na proteção da envolvente externa do edifício e de qual é o seu *modus operandi* desejado.

O sistema de boca armada de incêndio com mangueiras de incêndio tipo teatro e de canhões monitores fixos à rede hidráulica, operados pelos brigadistas de incêndio do edifício industrial é um destes sistemas, cuja definição das posições dos pontos de atuação manual, no sentido de envolver o contorno do edifício, deve ser feita considerando uma tática de combate ao princípio de incêndio na zona de interface florestal, de modo a proporcionar condições para este combate inicial de forma rápida e localizada por parte da brigada de incêndio do edifício, no sentido de conter ou controlar o incêndio que está chegando ao edifício pela zona de interface florestal. A proposição destes pontos e dos meios de combate (bocas armadas, canhões monitores, entre outros) e o distanciamento entre estes deve levar em conta o manto florestal circunvizinho ao edifício industrial e sua proximidade com o mesmo.

Pode-se dizer que o desempenho dos sistemas com intervenção manual durante o combate ao incêndio dependerá de, pelo menos, três aspetos importantes: a qualidade técnica da atuação humana no primeiro combate ao incêndio, a qual dependerá do grau de conhecimento dos ocupantes; a prontidão operacional do sistema, que no caso, é de se garantir que o sistema foi devidamente projetado, construído e comissionado conforme o risco a ser protegido e ainda, deste estar em condições de operação por meio das ações de inspeção, testes e manutenção periódicas e, de que as dimensões do incêndio a ser combatido estejam dentro das prerrogativas do dimensionamento para a primeira intervenção pelo sistema hidráulico.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve como objetivo identificar aspetos relevantes para a utilização dos sistemas hidráulicos para proteção da envolvente externa dos edifícios nas zonas de interface industrial florestal. A proteção desta envolvente com a utilização de sistemas automáticos, em função dos avanços já promovidos com a utilização desta tecnologia e sua reconhecida eficiência operacional no combate a incêndios, encontra-se mais presente.

Observa-se que o fluxo de calor obtido por Kim, Taber e Loughheed [11] em seus experimentos é comparável ao considerado na norma FM DS 9-9 [12] para exposição da envolvente externa ao calor de um incêndio florestal. Nota-se ainda a similaridade dos conceitos no uso do sistema de chuveiros automáticos como apoio à preservação da integridade da compartimentação horizontal contra a ação dos incêndios externos. Destaca-se que o valor máximo admissível do fluxo de calor irradiado na fachada, vindo de um edifício em chamas, é de 12,5 kW/m<sup>2</sup>, originalmente derivado do trabalho da Joint Fire Research Organization [15] e conceitualmente aceito como o valor máximo que, abaixo deste, torna-se improvável a ocorrência de ignição por chama piloto para a maioria dos materiais celulósicos e adotado como referência na norma NFPA 80A [16], a qual trata de recomendações práticas para proteção de edifícios contra a exposição de incêndios externos em cenário predominantemente urbano. Pôde-se constatar que o valor do caudal obtido na descarga de um chuveiro automático nos experimentos conduzidos por Kim, Taber e Loughheed [11] de 104,5 L/min que resultou em uma proteção complementar para a compartimentação da fachada envidraçada com altura de 2,6 m exposta a um fluxo de calor irradiado da ordem de 45 kW/m<sup>2</sup>, o qual corresponde a um caudal por chuveiro automático instalado a uma distância de 3,7 m em parede

externa com altura de 3,0 m exposta a um fluxo de calor irradiado de 50 kW/m<sup>2</sup> conforme a FM DS 9-9 [12] demonstrando a integração entre as disciplinas de proteção passiva e ativa.

A abordagem adotada na norma FM DS 9-9 tem como essência a aplicação sistêmica dos conceitos de engenharia de segurança ao incêndio, como a estimativa do fluxo de calor irradiado pela vegetação envolvente, as características construtivas da envolvente externa quanto a reação ao fogo, o controle de fontes de ignição externas pela brigada de incêndio e seu preparo técnico quanto ao atendimento à emergências de incêndio, não sendo um problema simplesmente equacionado por critérios prescritivos simplificados de dimensionamento para atribuição de medidas de proteção ativa, mas sim privilegiando a proteção passiva como medida preferencial para a proteção da envolvente externa e colocando como alternativa a proteção ativa como medida complementar.

Os sistemas de chuveiros automáticos precisam considerar determinados aspectos em seu dimensionamento, como: o tipo de aspersão da água no ambiente (tamanho das partículas de água); a quantidade de pontos de aspersão (chuveiros automáticos); a sua distribuição no espaço (espaçamento entre chuveiros); o padrão de aspersão de água sobre a área do incêndio (se é do tipo spray ou de gotas grandes - ESFR); as pressões mínimas e máximas de operação; o caudal por chuveiro e o caudal total do sistema em operação. Todos estes devem ser considerados na área a ser protegida e nas condições hidráulicamente mais remotas do sistema. A quantidade de água mínima deve ser determinada em função do tempo mínimo entendido como o necessário para o combate inicial ao incêndio e que dentro deste, inclua-se o tempo de controle do incêndio até a chegada do apoio para o combate, seja pela brigada de incêndio do local ou pelo corpo de bombeiros da região.

Reforça-se aqui a necessidade de que os sistemas de chuveiros automáticos devem ser projetados e instalados com base no risco da ocupação a ser protegida, seja tanto para os ambientes internos quanto para os externos, de forma que estes atuem no controle e/ou na supressão de incêndios. Quando considerar a extensão destes sistemas para a proteção do exterior do edifício, a partir de sistemas existentes dentro das áreas de risco das edificações industriais, tal extensão deve ser objeto de uma criteriosa análise de projeto e de cálculo hidráulico para verificar o atendimento e considerar uma abordagem integrada entre as medidas passivas e ativas de proteção contra incêndio, visando o melhor desempenho possível destas medidas perante uma situação real de incêndio. Além disto, devem ter um acompanhamento rigoroso de todo o processo de construção e de comissionamento, no sentido de cumprir todas as premissas definidas em projeto, garantindo que seja entregue em condições operacionais plenas e com os devidos registros e testes comprobatórios de desempenho requeridos para a aplicação pretendida, para que os responsáveis pela edificação possam dar seguimento às ações de inspeção, testes e manutenção de forma a preservar a sua prontidão operacional.

A utilização de sistemas de chuveiros automáticos ou de sistemas de água nebulizada (dilúvio) aplicados à proteção da envolvente contra os incêndios florestais ainda requer aprofundamento, por meio de ensaios experimentais em escala real, de forma a reproduzir as cargas de incêndio adjacentes aos edifícios industriais e sistemas construtivos comumente utilizados na envolvente externa, comparando o desempenho entre as soluções de proteção e sistemas construtivos protegidos, de forma a propor critérios de proteção para situações particulares. Esta abordagem investigativa é considerada em sistemas hidráulicos que protegem riscos de incêndio específicos, como é o caso das soluções técnicas para proteção contra incêndio por sistemas de água em névoa.

#### **4. REFERÊNCIAS**

- [1] McNamee, M; Meacham, B; Hees, P. v.; Bisby, L; Chow, W.K.; Coppalle, A.; Dobashi, R. Dlugogorski, B.; Fahy, R.; Fleischmann, C.; Floyd, J.; Galea, E. R; Gollner, M.; Hakkarainen, T.; Hamins, A.; Hu, L.; Johnson, P.; Karlsson, B.; Merci, B.; Ohmiya, Y.; Rein, G.; Trouvé, A.; Wang, Y; Weckman, B.; IAFSS agenda 2030 for a fire safe world, Fire Safety Journal, Volume 110, 2019, 102889, ISSN 0379-7112.
- [2] Manzello, S. L.; Bianchi, Raphaele; Gollner, M. J.; Gorham, D.; McAllister, S.; Pastor, E.; Planas, E.; Reszka, P.; Suzuki, S.; Summary of workshop large outdoor fires and the built environment, Fire Safety Journal, Volume 100, 2018, Pages 76-92, ISSN 0379-7112.
- [3] Cancelliere P, Canzani P, Sassi S, Lucchini A, Messa S, Anselmi E. A new test method to determine the fire behavior of façades with etic system. Fire and Materials. 2020;1–14.

- [4] L.Boström, A. Hofmann-Böllinghaus, S. Colwell, R. Chiva, P. Tóth, I. M. J. Sjöström, J. Anderson, D. L. June, Development of a European approach to assess the fire performance of facades, Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2018, ISBN 978-92-79-88000-1..
- [5] BS 8414-1:2015+A1:2017, Fire performance of external cladding systems. Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the masonry face of a building, 2015, British Standards Institution.
- [6] BS 8414-2:2015+A1:2017, Fire performance of external cladding systems. Test method for non-loadbearing external cladding systems fixed to and supported by a structural steel frame, 2015, British Standards Institution.
- [7] DIN 4102-20, Fire behaviour of building materials and building components-Part 20: complementary verification for the assessment of the fire behaviour of external wall claddings, Germany; 2017.
- [8] Grant, G; Brenton, J; Drysdale, D; Fire suppression by water sprays, Progress in Energy and Combustion Science, Volume 26, Issue 2, 2000, Pages 79-130, ISSN 0360-1285.
- [9] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 13 : Standard for the installation of sprinkler systems, Quincy: NFPA, 2016. 453p.
- [10] Frank et al.: A review of sprinkler system effectiveness studies. Fire Science Reviews 2013.
- [11] Kim, A.K., Taber, B.C. & Lougheed, G.D. Sprinkler Protection of Exterior Glazing. Fire Technology 34, 116–138 (1998).
- [12] FACTORY MUTUAL INSURANCE COMPANY. FM DS 9-9. Wildland Fires. FM GLOBAL. Norwood. 2017-2020. 12p.
- [13] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 15 : Standard for the installation of water spray systems, Quincy: NFPA, 2016. 453p.
- [14] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 750 : Standard on Water Mist Fire Protection Systems, Quincy: NFPA, 2015. 74p.
- [15] Law, M. 1963. "Heat Radiation from Fires and Building Separation." Fire Research Technical Paper No. 5, Department of Scientific and Industrial Research and Fire Offices Committee, Joint Fire Research Organization, Her Majesty's Stationery Office, London.
- [16] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 80A : Recommended practice for protection of buildings from external fire exposure, Quincy: NFPA, 2012. 13p.

# AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIOS ELÉTRICOS ATRAVÉS DE INSPEÇÕES PERIÓDICAS



**Gustavo Silva da Rocha\***  
Aluno de Doutorado  
UC – Coimbra



**João Paulo C. Rodrigues**  
Professor  
UC - Coimbra



**Daniel da Silva Gazzana**  
Professor  
UFRGS - Brasil

## SUMÁRIO

Incêndios de origem elétrica representam 17% de todos os incêndios residências que ocorrem anualmente nos Estados Unidos, segundo dados oficiais do governo norte americano. Na Europa esse número chega à 30%. Na Índia esse número atinge mais de 70%. No Brasil não há estatísticas oficiais, mas especialistas acreditam que o volume de ocorrências desta natureza seja ainda maior. Os últimos grandes incêndios ocorridos no Brasil reforçam este pensamento. Os incêndios no Museu da Língua Portuguesa, Museu Nacional e no Centro de Treinamento do Flamengo são apenas exemplos mais recentes de incêndios causados por curto-circuito elétrico no Brasil. Deve-se considerar, contudo, que na maioria das vezes o curto-circuito não é a causa, mas sim a consequência de alguma patologia na instalação elétrica. Existem manifestações patológicas na instalação elétrica que estes dispositivos não são capazes de identificar, na maioria das vezes, como a ocorrência do arco elétrico tipo série. Por esse motivo, o fenômeno está relacionado com grande parte dos incêndios. Aprimorar as rotinas de inspeção periódicas é uma questão fundamental para que seja possível avaliar o risco da instalação e melhorar a sua segurança.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise de risco de incêndios, Incêndios elétricos, inspeções periódicas.

## 1. MECANISMOS QUE LEVAM AO INCÊNDIO DE ORIGEM ELÉTRICA

Para que seja possível compreender as causas deve-se, primeiramente, compreender os fenômenos físicos e químicos envolvidos no processo. Todo incêndio de origem elétrica é causado por um fenômeno termoelétrico capaz de iniciar ignição. Contudo, existem uma série falhas até chegarmos ao curto-circuito e o sobreaquecimento de conexões, que são os processos com maior liberação de calor. Frequentemente o evento inicial consiste em uma falha simples na instalação incapaz de iniciar o fogo, contudo a energia pode ser suficiente para desencadear uma série de reações até resultar em um defeito grave e irreversível. Compreender esses mecanismos é fundamental para aprimorar os padrões de verificação existentes com o objetivo de garantir a segurança contra o incêndio elétrico [1]

## 2. DEFEITOS COM POTENCIAL DE CAUSAR INCÊNDIOS

Segunda a norma NFPA 550 [2], que tem como objetivos orientar a ações preventivas contra incêndios, existem dois principais ramos de atuação: o gerenciamento dos impactos e/ou a prevenção da ignição. Nota-se que grande parte do esforço na área de segurança contra o incêndio é direcionado ao gerenciamento dos impactos, contudo,

---

\* Gustavo Silva da Rocha – Universidade de Coimbra, Departamento de engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal

email: uc2018312191@student.uc.pt

a prevenção da ignição muitas vezes é ignorada. A eletricidade é uma das principais fontes de energia capazes de provocar um incêndio, por isso, a identificação de falhas potencialmente perigosas em instalações elétricas torna-se extremamente relevante. Ainda que o curto-circuito esteja presente na maioria dos incêndios desta natureza, não se deve atribuir a ele a causa do evento. Existem uma série de falhas nas instalações elétricas capazes de gerar o curto-circuito, estas, portanto, são de fato as causadoras do dano. Esta ressalva torna-se pertinente, pois traz ao debate um olhar prevencionista, uma vez que grande parte destas falhas podem ser corrigidas a tempo de evitar o incêndio através de inspeções e manutenções periódicas. Porém, a tarefa pode não ser simples uma vez que existem lacunas nas normatizações existentes em função da dificuldade de identificação de alguns defeitos com alto potencial incendiário.

## 2.1 Conexões elétricas inadequadas

Dentre os profissionais especialistas, conexões ruins são a causa principal de incêndios elétricos. [1] Um simples circuito de alimentação de uma residência possui inúmeras conexões desde o quadro de distribuição até o ponto de alimentação de um equipamento. Esse tipo de falha costuma estar relacionada com má execução de serviços. Métodos inadequados de emendas em fios e falta de aperto em terminais podem ocasionar conexões com baixa pressão de contato gerando pontos aquecidos. Tal situação pode ser capaz de desencadear um processo que resulte em fogo [3], conforme observa-se na Figura 1. A falta de manutenção periódica e a utilização de materiais não certificados também podem em pontos de conexão precários.

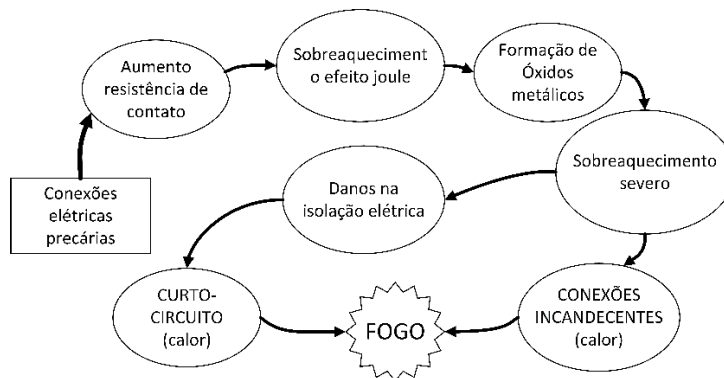


Figura 26 Conexão elétricas precárias.

A baixa pressão de contato em conexões elétricas precárias pode ocasionar um aumento na resistência de contato, passando a dissipar calor através do efeito Joule, conforme (1). Esse aquecimento passa a provocar a formação do óxido de cobre, um semiconductor com alta resistência negativa. Tal característica, contudo, faz aumentar a resistência de contato, pois a corrente passa a ser conduzida através dos pontos de formação de óxido levando a um aumento na densidade de corrente e provocando um sobreaquecimento severo quando há o surgimento das chamadas conexões incandescentes, como é mostrado na Figura 27. As temperaturas pontuais podem superar 1200°C podendo gerar danos na isolação elétrica dos materiais e condutores provocando curtos-circuitos ou provocar a ignição de materiais adjacentes. [4]

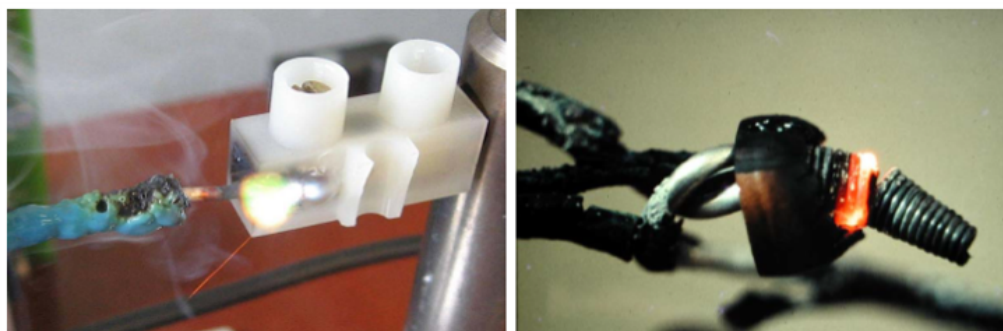


Figura 27 Conexão elétrica incandescente.

Neste tipo de conexões as potências envolvidas geralmente não são muito grandes, de 10 a 50W tipicamente, ou 0,3 A em 120 V, motivo pelo qual não há atuação dos dispositivos de sobrecorrente [5] Além disso, a queda de

tensão é geralmente muito pequena e a resistência elétrica total do circuito sofre uma variação muito pequena, dificultado sua identificação através de ensaios elétricos. Algumas técnicas de detecção vêm sendo estudadas para a identificação de conexões incandescentes, contudo não existe um ensaio elétrico padronizado que indique a sua presença.[6] Para esses casos, apenas análises termográficas, como visto na Figura 28, são capazes de identificar este problema. Contudo, estas verificações não são possíveis de serem realizadas em locais sem acesso, como em forros e no interior de tubulações e caixas de passagem.



Figura 28 Imagem térmica disjuntor com falta de aperto.

## 2.2 Estresse térmico causado por sobreintensidade

A palavra sobreintensidade traz a ideia de carga superior à capacidade. Contudo, deve-se esclarecer que o fator a ser considerado é a temperatura e não a corrente elétrica que circula no condutor, necessariamente. Toda a corrente elétrica ao atravessar um condutor gera calor, conforme (1), referente à chamada lei de Joule. Nela, o  $R$  é a resistência elétrica do condutor percorrido por uma corrente  $i$  durante o intervalo de tempo entre  $t_2$  e  $t_1$ ;

$$Q = R \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt \quad (1)$$

A determinação da capacidade de condução de um fio é determinada pela temperatura máxima que a camada isolante elétrica suporta, sem haver degradação das suas propriedades físicas. [7] Estas temperaturas costumam variar entre 70 e 90°C, mas pode ser superior, de acordo com o material utilizado. Ou seja, um condutor de PVC (70°C) operando com temperatura de 80°C estará em situação de sobreintensidade, gerando estresse térmico ao sistema. A ligação de muitas cargas a um mesmo circuito, associada à falha na proteção de sobrecorrente, costuma ser a principal causa de sobreintensidade, mas existem outros mecanismos que podem gerar esta situação, conforme mostra a Figura 29;

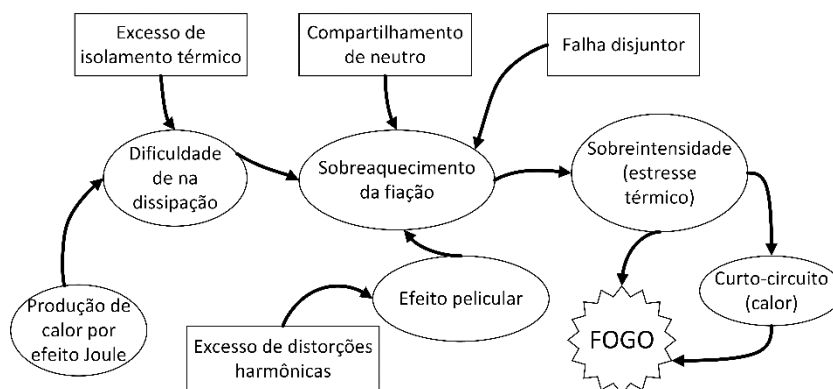


Figura 29 Estresse térmico causado por sobreintensidade

Como já mencionado anteriormente, a sobreintensidade está associada à temperatura do condutor que não depende somente do calor gerado, mas também da troca de calor com o ambiente. A instalação de circuitos em ambientes com isolamento térmico pode trazer dificuldades de dissipação do calor gerado e aumentar a temperatura de operação, podendo resultar em sobreintensidade, como mostrado na Figura 5, adaptado de.[8]

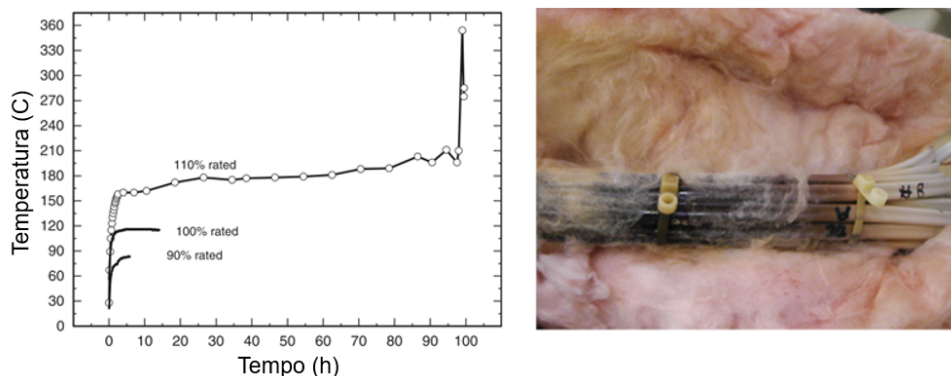


Figura 5 Sobreintensidade causada por excesso de isolamento térmico

Ela pode ocorrer também em função do chamado efeito pelicular, causados por distorções harmônicas geradas por alguns tipos de cargas. Esse efeito faz com que a corrente elétrica circule apenas na camada superficial do condutor, reduzindo a área de condução e aumentando a resistência elétrica. [9] As normas internacionais como a NEC 70 [10] e a IEC 60287 [7] consideram estes fatores para o dimensionamento dos condutores, contudo a avaliação da taxa de distorção harmônica não costuma figurar nas rotinas de verificação. Problemas de compartilhamento do condutor são comuns em instalações e podem causar sobreaquecimento do circuito. A ruptura deste condutor também pode causar sobretensões capazes de incendiar equipamentos.

### 2.3 Danos à fiação elétrica

Rupturas parciais de cabos ou o comprometimento da camada de isolamento dos condutores são situações comuns em uma instalação elétrica. A Figura mostra alguns casos típicos;



Figura 6 Danos mecânicos à cabos elétricos

Os danos mecânicos, assim como a degradação por envelhecimento dos materiais, ao longo da vida útil da instalação podem provocar os chamados arco elétricos. Esse fenômeno consiste na ocorrência de cintilações de baixa intensidade, mas capazes de desencadear um processo de degradação da instalação, podendo resultar em curto-circuito ou a ignição por sobreaquecimento.

Dispositivos tradicionais de proteção como disjuntores de sobre corrente e disjuntores diferenciais residuais podem não atuar antes do início de um incêndio, principalmente no caso do arco série, pois a corrente é limitada à corrente de carga. Por esse motivo torna-se um risco ainda maior. Existem dispositivos projetados para este fim, os chamados AFDIs, sigla do inglês para *Arc Fault Detection and Interrupter*. Estes equipamentos buscam identificar a ocorrência do arco e interromper a sua alimentação. São poucos os países que já adotaram esse instrumento, em parte por ainda possuem limitações na detecção em função do efeito de mascaramento causados por alguns tipos de carga. [11]

Também conhecido como falta arco, ele pode ser classificado de acordo com o caminho que a corrente de arco percorre, conforme pode-se observar na Figura . No arco tipo série (a) a corrente de arco coincide com a corrente de carga, já no arco paralelo, a corrente de arco pode ser caracterizada como uma corrente de fuga. [11]

Além da classificação do arco baseada no percurso da corrente de arco, há também a classificação conforme a origem e o meio de propagação dessa corrente. Desse modo, é possível classificar o arco de duas diferentes formas: arco sem contato por trilha carbonizada e arco de contato. Arcos sem contato por ruptura dielétrica são mais raros em instalações de baixa tensão e não serão abordados nesse trabalho. [11]

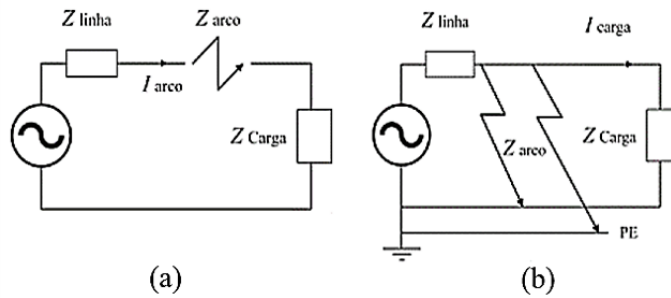


Figura 7 Falta arco tipo série (a), falta arco tipo paralelo (b).

O arco sem contato por trilha carbonizada ocorre com frequência em instalações mal executadas ou sem conservação. Geralmente surgem quando a camada isolante de cabos é danificada. Essa situação pode ainda ser agravada no caso da existência de umidade excessiva e sujeira no local em que o cabo teve sua proteção comprometida. Essa queda no isolamento elétrico pode provocar pequenas descargas e, por consequência, um aquecimento pontual e gradual. Esse processo pode acabar gerando estresse térmico capaz de degradar ainda mais o polímero da camada isolante a ponto de queimá-lo. Tal fato pode formar o chamado caminho carbonizado. Esse caminho passará a ser uma trilha alternativa para a corrente, causando mais aquecimento no local. Tal processo, quando desencadeado, pode gerar as condições para a formação de um arco sustentável capaz de causar prejuízos definitivos ao circuito e provocar um curto-circuito. [5]

O arco de contato, por sua vez, pode ocorrer com o rompimento parcial da parte condutora de um cabo elétrico. O aumento da densidade de corrente poderá criar um aquecimento pontual através do efeito Joule (1). Esse aquecimento pode provocar a fusão do condutor sem interromper a condução de corrente. Tal mecanismo é chamado de ponte derretida. Na Figura 8, adaptada de [12].

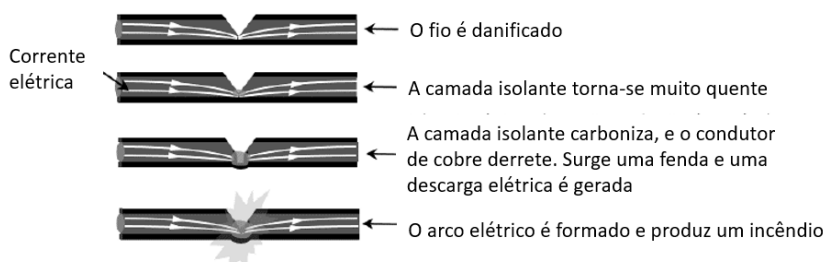


Figura 8 Arco por caminho carbonizado e ponte derretida em cabo danificado.

Observa-se na Figura 8 que um dano mecânico em um cabo pode gerar simultaneamente os dois tipos de arco, acelerando o processo de comprometimento da integridade do circuito afetado. Conforme a Figura é possível observar alguns dos principais defeitos em instalação elétricas, relacionados à fiação, potencialmente perigosos.

O envelhecimento dos materiais também pode provocar a degradação da camada isolante provocando danos à isolação do condutor. Uma instalação mais antiga implicará em menor segurança contra o incêndio, portanto.

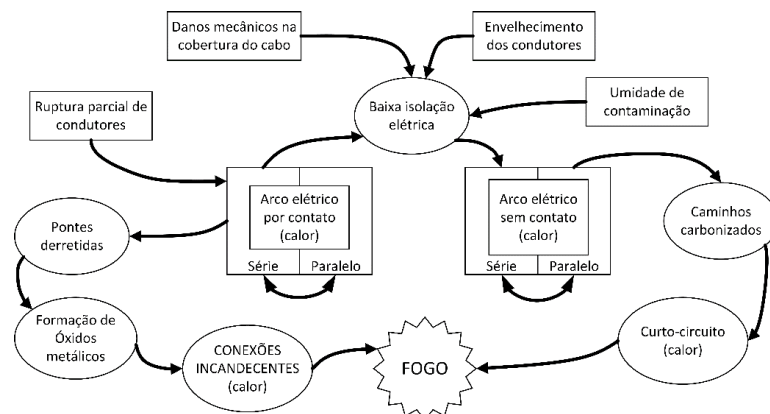


Figura 9 Mecanismos de incêndios causados por problemas na fiação

### 3. INSPEÇÕES PERIÓDICAS E AVALIAÇÃO DOS RISCOS DE INCÊNDIO

Como mostrado anteriormente, são diversos os tipos de falhas que podem ocasionar um curto-circuito. Esses defeitos muitas vezes não apresentam consequências imediatas, mas podem levar ao comprometimento da instalação a médio e longo prazo. Inspeções periódicas adequadas podem, portanto, garantir a segurança contra o incêndio. Contudo, as normas que tratam sobre esse tipo de inspeção costumam ser vagas em aspectos fundamentais na prevenção ao fogo. Tomando-se como referência a norma portuguesa, RTIEBT (Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão) [13], item 62, verifica-se apenas o ensaio visual para itens bastante relevantes. Para instalações existentes a norma indica apenas a inspeção visual dos dispositivos de proteção contra sobrecorrente, assim como de conexões elétricas. Não há a indicação de inspeções termográficas, por exemplo. Deste modo, torna-se extremamente difícil a identificação de pontos de aquecimento antes de causarem danos. [14] Em alguns casos a instalação pode estar de acordo com todas as normas de segurança, mas ainda assim representar um risco potencial. No Brasil a NBR 5410 [15] é ainda mais superficial, tornando-se um fator ainda mais crítico.

Existem algumas metodologias de análise de risco de incêndio em edificações como o método de Gretner cujo pressuposto é de que todas as normas aplicáveis estão atendidas e que visa quantificar da segurança da instalação. Para tal, são avaliadas as características contrutivas e as medidas de proteção existentes. Há ainda, o fator chamado de risco ativação, que é definido pela avaliação de fontes cuja energia calorífica ou de ignição é suscetível de desencadear um processo de combustão e pela inflamabilidade. [16] A eletricidade, presente em todas as instalações, é uma das principais fontes de energia calorífica de iniciar um incêndio. Contudo, a análise do risco de ativação é baseada, somente, no tipo de atividade desenvolvida no local, conforme a Tabela 1.

Ao final da aplicação desse método obtêm-se o risco efetivo de incêndio e o grau de segurança. A aplicação deste método justifica-se pelo fato de que mesmo atendendo a todas as normas requeridas uma instalação pode apresentar um risco de incêndio acima do admissível.

O risco da eletricidade é abordado de maneira mais direta no método FRAME. Nesse, o risco de ativação é tratado com o somatório de fatores tabelados referentes a atividade principal, instalações de aquecimento, instalações elétricas, risco de explosão e atividades secundárias. Ao que se refere às instalações elétricas, são estabelecidos 3 níveis de risco, conforme mostrado na Tabela 2; [17]

Tabela 1 Classificação sobre o perigo de ativação método Gretner

Fator A	Perigo de ativação	Exemplos
0,85	Fraco	Museus
1,00	Normal	Apartamentos, hotéis, fabricação de papel
1,20	Médio	Fabricação de máquinas e aparelhos
1,45	Elevado	Laboratórios químicos, oficinas de pintura
1,80	Muito elevado	Fabricação de fogos de artifício, vernizes e pinturas

Tabela 2 Perigo de ativação por eletricidade para o método FRAME

Instalações eléctricas	a <sub>3</sub>	Em conformidade com regulamentos e controladas	0
		Em conformidade, mas sem controle periódico	0,1
		Não está conforme as regras de instalação	0,2

Ainda que estes parâmetros possam servir de referência, são insuficientes para uma avaliação fidedigna do risco de ativação pela eletricidade. Existe, portanto, uma carência de métodos de avaliação da segurança em instalações eléctricas de maneira a viabilizar a avaliação deste risco.

#### 4. CONCLUSÕES

De modo geral, as normas para verificação de instalações eléctricas são muito genéricas e não contemplam ensaios relevantes para avaliação da infraestrutura do local. Mesmo instalações que realizem inspeções periódicas podem ocultar falhas com potencial de causar incêndios se não forem identificadas na fase inicial. Pode-se destacar os problemas gerados por conexões e problemas de isolamento eléctrica.

A deterioração da isolamento de cabos ocasionadas por estresse térmico, danos mecânicos, químicos e envelhecimento é um dos principais fatores para o surgimento dos arcos eléctricos. A análise adequada da isolamento de cada circuito é fundamental, portanto, para evitar-se o surgimento de tal problema. As verificações de rotina, contudo, preconizam apenas a medição da resistência de isolamento como fator para determinar a condição da fiação. O RTIEBT, quadro 61A, indica os valores de resistência de isolamento mínimos de acordo com a tensão nominal do circuito. No caso de haver valores inferiores a estes, haverá a necessidade de intervenção corretiva. Ocorre que esse teste possui uma grande influência da temperatura, fornecendo resultados com significativa margem de erro.

Como alternativa, pode-se aplicar o teste de Índice de Polarização (IP) que é definido através da razão entre a resistência eléctrica medida após 10 minutos ( $R_{10}$ ) da aplicação da tensão de teste, sobre a resistência eléctrica com 1 minuto ( $R_1$ ) de teste. Como os dois testes são realizados com a mesma temperatura, o resultado independe desta condição ambiental.

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1} \quad (2)$$

Este ensaio é capaz de avaliar a condição da fiação de maneira mais abrangente, uma vez que a variação nos valores de resistência em 1 minuto e 10 minutos ocorre justamente pela presença de umidade, contaminação na estrutura degradada da camada protetora dos fios. Na presença do campo eléctrico existe um rearranjo molecular e a alteração no valor da resistência indica o quão íntegro o condutor está, conforme a Tabela 3;

Tabela 3 Resultado do teste de Índice de Polarização (isolamento eléctrica)

Teste de Índice de Polarização	Condição de isolamento do cabo
<1,0	Perigosa
1 - 1,5	Ruim
1,5 - 2,0	Baixa confiabilidade
2,0 - 3,0	Adequada
3,0 - 4,0	Boa
> 4,0	Excelente

Fatores como contaminação, umidade e outros componentes químicos provenientes da degradação da camada de proteção da fiação, que influenciam na rigidez dieléctrica do circuito, sofrem alteração na presença do campo eléctrico. Essas alterações são identificadas pelo teste de IP. A indicação da presença destes fatores antes do surgimento dos arcos eléctricos e do comprometimento da resistência de isolamento é fundamental na prevenção ao incêndio.

A identificação das conexões eléctricas deficientes, por sua vez, é outro grande desafio, pois a queda de tensão e o aumento da resistência de contato costumam ser bastante baixos. Desta maneira pode não ser possível a sua identificação através de testes de resistência eléctrica. Faz-se necessário, portanto, inspeções termográficas para possibilitar a identificação de pontos de aquecimento em conexões, o que costuma não acontecer.

Essas lacunas nas rotinas de verificação acabam comprometendo, muitas vezes, os resultados dos métodos de análise de incêndios que utilizam o atendimento às normas como fator para determinar o risco de ativação pela eletricidade, como o método de FRAME.

Uma avaliação geral da instalação elétrica baseada idade dos componentes, materiais utilizados, topologia de proteção, avaliações visuais e termográficas aliada ao acompanhamento da evolução dos valores de isolamento através do método do Índice de Polarização é fundamental para garantirmos a segurança da instalação contra o incêndio de origem elétrica. Além disso, com base nessas características é possível o desenvolvimento de uma metodologia de análise de riscos que indique o grau de segurança daquela instalação, tal qual os métodos de Gretner e FRAME, no que diz respeito aos riscos elétricos de incêndio. Tal metodologia poderia ser aplicada independente, ou até mesmo aplicada de maneira a complementar os métodos existentes fornecendo um risco de ativação mais assertivo.

## REFERÊNCIAS

- [1] Babrauskas V., "RESEARCH ON ELECTRICAL FIRES: THE STATE OF THE ART," *Fire Safety Science*, vol. 9, pp. 3–18, 2008, doi: 10.3801/IAFSS.FSS.9-3.
- [2] Park B., "NFPA 550 Guide to the Fire Safety Concepts Tree 2002 Edition," 2002.
- [3] Hadziefendic N., Trifunovic T. and Kostic M., "EFFECTS OF A REDUCED TORQUE ON HEATING OF ELECTRICAL CONTACTS IN PLUGS AND RECEPTACLES," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 8, no. 11, pp. 1905–1913, Nov. 2018, doi: 10.1109/TCPMT.2018.2827080.
- [4] Kim D., Kim H., Shong K. and Choi C., "THE PROPERTIES OF OXIDATION GROWTH AND OVERHEATING BY POOR CONTACT," in *2006 IEEE 8th International Conference on Properties and applications of Dielectric Materials*, Jun. 2006, pp. 392–395. doi: 10.1109/ICPADM.2006.284198.
- [5] Shea J., "CONDITIONS FOR SERIES ARCING PHENOMENA IN PVC WIRING," *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 30, no. 3, pp. 532–539, Sep. 2007, doi: 10.1109/TCAPT.2007.903500.
- [6] Hadziefendic N., Kostic N., Trifunovic J., and Kostic M., "DETECTION OF POOR CONTACTS IN LOW-VOLTAGE ELECTRICAL INSTALLATIONS," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 129–137, Jan. 2019, doi: 10.1109/TCPMT.2018.2882626.
- [7] BSI, "IEC 60287-1-1: 2006 - Electric cables. Calculation of the current rating. Current rating equations (100% load factor) and calculation of losses." 2006. Accessed: Jan. 09, 2017. [Online]. Available: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)
- [8] Shea J., "IDENTIFYING CAUSES FOR CERTAIN TYPES OF ELECTRICALLY INITIATED FIRES IN RESIDENTIAL CIRCUITS," *Fire and Materials*, 2009, doi: 10.1002/fam.1033 Identifying.
- [9] Connell K. O., "HEATING EFFECTS THROUGH HARMONIC DISTORTION ON ELECTRIC CABLES IN THE BUILT ENVIRONMENT HEATING EFFECTS THROUGH HARMONIC DISTORTION ON ELECTRIC CABLES IN THE BUILT ENVIRONMENT," 2013. doi: 10.21427/D7X310.
- [10] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, *NEC70 - NATIONAL ELECTRICAL CODE*. 2017.
- [11] Martel J.-M., "SERIES ARC FAULTS IN LOW-VOLTAGE AC ELECTRICAL INSTALLATIONS," 2018.
- [12] Yang K., Zhang R., Yang J., Liu C., Chen S., and Zhang F., "A NOVEL ARC FAULT DETECTOR FOR EARLY DETECTION OF ELECTRICAL FIRES," *Sensors*, vol. 16, no. 4, p. 500, Apr. 2016, doi: 10.3390/s16040500.
- [13] *Regras técnicas das instalações eléctricas de baixa tensão: regulamento e licenças para instalações eléctricas*, 5th ed. INCM – Imprensa Nacional Casa da Moeda, 2016.
- [14] Hadziefendic N., Trifunovic J., and Davidovic M., "THE IMPORTANCE OF PREVENTIVE THERMOGRAPHIC INSPECTIONS WITHIN PERIODIC VERIFICATIONS OF THE QUALITY OF LOW-VOLTAGE ELECTRICAL INSTALLATIONS," March, 2020.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão*. Rio de Janeiro, 2004.
- [16] Neves I. C. e Lemos, A. M. F. T.; Neves, "Avaliação do Risco de Incêndio, Método de Cálculo," *Instituto Superior Técnico*, 2004, p. 57.
- [17] de Smet E., "FRAME 2008 Manual para o usuário," *Oferlaan 96*, p. 43.

## INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO NO BRASIL E EM PORTUGAL



**Rodrigo Almeida  
Freitas ††††**  
Doutorando Enga.  
Segurança ao Incêndio  
UC - Coimbra



**João Paulo Correia  
Rodrigues**  
Professor  
UC - Coimbra

### SUMÁRIO

A investigação de incêndio é executada de diferentes formas nos diversos locais e países. O estudo visa apresentar a motivação e funcionamento de diferentes formas de investigação de incêndio no Brasil e em Portugal. Além disso, é apresentada a forma de disponibilização de dados de incêndios, oriundo de sinistros de incêndios. Percebe-se que há duas motivações para a perícia de incêndio: para apuração de responsabilidades e para aperfeiçoamento da prevenção de incêndio. Mesmo havendo perícias de incêndio, há dificuldade de se encontrar dados e informações detalhadas de incêndios no Brasil e em Portugal. Pontua-se que sem a organização e dados e informações, o aperfeiçoamento da prevenção é prejudicada. Boas práticas de investigação de incêndios que melhor apresentem dados e informação detalhados de incêndios devem ser buscados para aperfeiçoamento da prevenção de incêndio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Investigação; incêndio; prevenção; perícia; Brasil; Portugal

### 1. INTRODUÇÃO

A investigação de incêndio destina-se, em termos gerais, para estudos dos aspectos, fatores e circunstâncias envolvidos no surgimento do fogo e desenvolvimento de incêndios. Em geral, um laudo de perícia de incêndio aponta, no mínimo, a causa do surgimento do fogo, a causa dos ferimentos e óbitos e a causa dos danos, incluindo a responsabilidade dessas causas. Além desses apontamentos, pode-se desenvolver estudos com diversos focos de uma cena de incêndio. Tais estudos voltam-se para melhor entendimento dos sinistros de incêndio e aperfeiçoamento da Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP).

O lema adotado pela Diretoria de Investigação de Incêndios (DINVI) do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) do Brasil demonstra, em termos gerais, a ideia envolvida nessa atividade: “investigar para prevenir”. A ideia geral é que a investigação de incêndio não tenha fim na perícia de incêndio ou em um estudo específico de uma determinada cena de incêndio, mas sim em contribuir e aperfeiçoar a prevenção de incêndio. Há potenciais modelos e instituições que podem contribuir com esse aperfeiçoamento. O presente trabalho estuda modelos de investigação de incêndio, iniciando por apresentar algumas motivações e modelos de perícia de incêndio no Brasil e em Portugal.

Após a perícia de incêndio, dados e informações da cena de incêndio são levantados e registrados. Assim, o trabalho também estuda as diferentes disponibilizações de dados de incêndios no Brasil e em Portugal. Busca-se aqui levantar e apresentar similaridades e diferenças de investigação de incêndio entre esses países.

---

††††† Autor correspondente – Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal e-mail:  
[rodrigo.almeida.freitas@gmail.com](mailto:rodrigo.almeida.freitas@gmail.com)

O presente artigo buscou a apresentação do funcionamento da investigação de incêndio no Brasil e em Portugal por meio de legislações, documentos e bibliografias. Estuda-se a perícia de incêndio dos Corpos de Bombeiros Militares e Polícias do Brasil, especificamente a Polícia Federal. Posteriormente observam-se práticas de perícia de incêndio em Portugal, em especial a Polícia Judiciária e a análise de incêndio da Proteção Civil de Portugal, especialmente por meio de relatórios disponibilizados. Após apontamento de dados disponibilizados nas instituições, tenta-se descobrir e comparar relações. Busca-se ainda apontar determinadas similaridades e diferenças em realidades de perícias de incêndio ou atividades similares. De forma a dar suporte aos resultados e discussões, conclusões de outras obras e recomendações de literaturas consolidadas são referenciadas.

## 2. A INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO NO BRASIL e PORTUGAL

### 2.1 A investigação de incêndio no Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal

A investigação de incêndio é competência e atividade finalística do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) que vem sendo desenvolvida desde 1973 com relevante papel de importância para a sociedade do Distrito Federal (DF) do Brasil, especialmente na disponibilização de laudos de perícia de incêndio. O CBMDF iniciou os serviços de perícia de incêndio na década de setenta, como uma atividade de suporte à investigação criminal de delegacias policiais e para a melhoria dos sistemas preventivos, por meio da retroalimentação.

A estratégia de retroalimentação do CBMDF é baseada no convênio com a *Japan International Cooperation Agency* (JICA). Algumas informações dessa parceria estão registradas no compêndio de Hamano<sup>102</sup><sup>[1]</sup>. Segundo o Manual de Perícia em Incêndios e Explosões do CBMDF<sup>[2]</sup>, a ideia de retroalimentação envolve “[...] informar a uma pessoa, grupo ou órgão sobre seu desempenho, conduta ou eventualidade executada [...]”. Dentro desse conceito, a retroalimentação visa, após análise de um determinado desempenho, elevar e aperfeiçoar as ações de prevenção e combate o incêndio.

No Brasil, dentro da ideia de retroalimentação, as instituições de bombeiros militares do Brasil, de maneira geral, possuem várias competências. Entre essas, citam-se: normatização técnica de SCIP, prevenção de incêndio, fiscalização, intervenção (combate) e investigação de incêndios. Configura-se, assim, um “Ciclo Operacional”, “Ciclo de Bombeiros”, “Ciclo Completo de Incêndio” ou Ciclo Completo de Segurança Contra Incêndio e Pânico, conforme Figura 30.



Figura 30: Ciclo Operacional de Bombeiro<sup>[3]</sup>

A fase chamada normativa visa elaborar e revisar normas ou códigos, de conteúdo técnico, de SCIP, podendo voltar-se ainda para elaborar procedimentos operacionais e de segurança. A fase fiscalizadora visa verificar a correta observância e aplicação das normas elaboradas, ou seja, a fiscalização, seja por meio de análise de projeto ou por meio de vistorias locais. A fase combativa seria a fase em que se dão intervenções em sinistros de incêndio, seria onde a norma ou a aplicação da norma eventualmente falha e ocorreu um incêndio. A fase investigativa visa estudar o sinistro de incêndio, englobando não apenas causas de surgimento do incêndio, mas também as fases anteriores, envolvendo por exemplo algumas perguntas: as normas aplicáveis ao caso continham prescrições

suficientemente adequadas? As ações de prevenção e fiscalização foram satisfatórias? As ações de intervenção e combate foram dentro de técnicas acertadas?

Assim, a investigação de incêndio do CBMDF apresentada nas Políticas de Segurança Contra Incêndio de Pânico<sup>[3]</sup> não apresenta um fim em si mesmo. Em outras palavras, a investigação de incêndio pensada não visa somente a produção de laudos de perícias de incêndio. Há uma preocupação relevante que a investigação de incêndio oportunize contribuições à prevenção e redução de danos de incêndio por meio do estudo do sinistro de incêndio. A ideia é que, pela perícia de incêndio, haja fomento à produção de conhecimentos relativos às estratégias de prevenção e intervenções (combate) em sinistros de incêndio.

A ideia contida no Ciclo Operacional parece ser bastante propícia ao fomento da SCIP. A atividade pericial pode coletar e fornecer inúmeros dados e informações de incêndio que, se organizados e disponibilizados, por apresentar um quadro que projeta a realidade de incêndios no Distrito Federal. Conforme Figura 31, percebe-se que somente no Distrito Federal do Brasil são realizadas mais de trezentas perícias de incêndio anualmente pelo CBMDF, sendo que em alguns anos há mais de setecentas perícias. Ou seja, há uma relevante produção de laudos periciais.

Apesar disso, não se encontram disponibilizados dados, informações, fatos e circunstâncias detalhadas relacionadas ao sinistro de incêndio no Distrito Federal. Encontrou-se apenas o número total de incêndios por região e por ano nos anuários do CBMDF<sup>[3][5][6][7]</sup>; mas não se encontrou uma espécie de compêndio com números e análises de incêndios ao longo de diversos anos, em que se possa verificar as principais causas de incêndios, objetos eventualmente envolvidos no surgimento do incêndio, número de feridos ou óbitos, primeiro material ignorado, tempo de combate, entre outras informações. Os números de incêndios anuais encontrados nos Anuários do CBMDF foram organizados pelo autor e estão expostas na Figura 31.

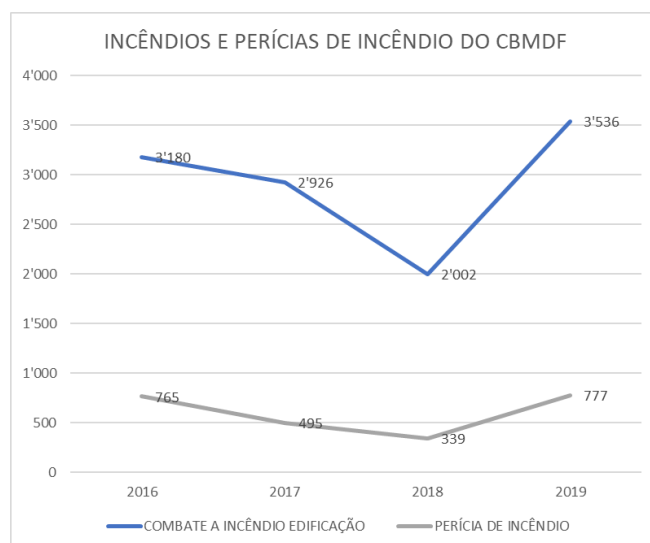


Figura 31: Incêndios e perícias de incêndio no Distrito Federal do Brasil

## 2.2 A investigação de incêndio no Corpo de Bombeiros Militar do estado do Espírito Santo

Outro local do Brasil também executa a perícia de incêndio com notoriedade: o Estado do Espírito Santo. Pela leitura de uma Norma Reguladora das atividades relacionadas a perícias de incêndios e/ou explosões do CBMES<sup>[8]</sup> pode-se também verificar que o serviço de investigação de incêndio tem relação com a finalidade de retroalimentar o Ciclo Operacional de Segurança Contra Incêndio. Há diversas relações da atividade avaliativa de desempenho com a perícia de incêndio no Estado do Espírito Santo do Brasil.

André Lugon<sup>[9]</sup>, oficial e perito de incêndio do CBMES, expõe que o Ciclo PDCA<sup>++++</sup> e Ciclo Operacional de Bombeiro compartilham similaridades, permitindo uma revisão da Segurança Contra Incêndio e Pânico. Citados

++++ O nome PDCA envolve os verbos da língua inglesa *plan, do, check e act*.

nessa dissertação<sup>[9]</sup>, Sarte, Maus e Rodrigues apresentam alguns conceitos que subsidiam a atividade de investigação de incêndio no CBMES e tem potencial para contribuir com o presente estudo sobre estruturas de perícia de incêndio, conforme abaixo.

As concepções relacionadas com a investigação de incêndio para Sarte<sup>[9]</sup>, resumidamente, envolvem: “a perícia de incêndio consiste na análise dos vestígios observados e coletados nos locais onde ocorreu o incêndio” e busca-se “com a formulação de um laudo, a causa, a origem, a propagação do fogo dentre outras informações”. Para Maus<sup>[9]</sup>, “a perícia de incêndio extrapola a finalidade da elucidação da causa e origem do incêndio, sendo responsável também pela avaliação dos serviços dos Corpos de Bombeiros relacionados ao sistema de proteção contra incêndio: elaboração de normas, vistorias, projetos de incêndio e ações de combate”. Já Rodrigues<sup>[9]</sup> pontua que “a perícia de incêndio tem como objetivo avaliar continuamente o sistema de segurança contra incêndio”. Assim, “pode-se, por meio da atividade de perícia de incêndio e explosões, obter subsídios para: [...] elaborar normas relacionadas ao Sistema de Proteção Contra Incêndio, verificar a eficiência de ações fiscalizadoras da execução das normas, avaliar as ações de combate pelos bombeiros [...]”.

Conforme observado acima, percebe-se que a investigação de incêndio no Espírito Santo busca significado além do laudo pericial. A ideia de retroalimentação é subsidiada na norma reguladora da atividade no relato de quem executa a atividade. Além disso, a demanda de avaliação do sistema de Segurança Contra Incêndio e Pânico é citada como parte da finalidade da investigação de incêndio do Estado do Espírito Santo, de forma similar ao CBMDF. Há relevante produção de perícias e laudos de incêndio, inclusive em colaboração mútua com a polícia civil do Estado do Espírito Santo. Entretanto, de forma similar ao CBMDF, não se encontram disponibilizados dados e informações detalhadas de incêndio, ao longo dos anos, resultantes das perícias de incêndio, que poderiam contribuir com a desejada retroalimentação e fomento ao aperfeiçoamento da SCIP.

### **2.3 A investigação de incêndio no Corpo de Bombeiros Militar do estado do Rio de Janeiro (CBMERJ)**

De forma distinta de outros Estados do Brasil, o CBMERJ executa outras perícias, além da perícia de incêndio. O CBMERJ executa, por exemplo, dentro das suas atividades periciais, perícia de acidentes de viaturas, exame de local de crime militar, exame balístico, exames documentoscópicos, entre outros. Assim, a perícia de incêndio do CBMERJ difere um pouco em relação às demais perícias de incêndio dos Corpos de Bombeiros do Brasil, não estando, inicialmente, atrelada à ideia de fomento do Ciclo Operacional de SCIP.

Apesar de não haver uma citação formal, a norma de perícia de incêndio do CBMERJ<sup>[10]</sup> cita alguns fatores que podem estar associadas ao Ciclo Operacional. Seguem alguns exemplos: “identificação de evidências que influenciaram para iniciar, direcionar ou ampliar o sinistro”; “identificação de evidências que influenciaram para reduzir a eficiência ou a eficácia de ações no combate ao sinistro”; “identificação de evidências que influenciaram para reduzir a eficiência ou a eficácia dos equipamentos de prevenção contra incêndio e pânico”, entre outros. Tais dados, se bem extraídos dos laudos de perícia e organizados em informações, podem contribuir com identificação de padrões e tendências no sinistro de incêndio.

De forma similar às demais UFs, o CBMERJ executa perícias de incêndio. Há produção relevante de perícias e disponibilização de laudos às partes que tiveram relação com o incêndio. Entretanto, não se encontram disponibilizadas detalhadas informações de aspectos, circunstâncias e padrões relacionados ao sinistro de incêndio.

### **2.4 As perícias criminais em cena de incêndio das Polícias Brasileiras**

De forma semelhante a outros países, o sinistro de incêndio pode ser objeto de perícia criminal. A perícia criminal no Brasil é executada pela Polícia Federal (PF), polícias civis, técnicas ou científicas de cada região. A dissertação de mestrado do perito criminal da Polícia Federal João Luiz Moreira de Oliveira<sup>[11]</sup> pontua que “a perícia é uma atividade que é, na sua origem, simultaneamente meio de prova e ferramenta de investigação criminal”. Além disso, a perícia criminal busca caracterizar a “materialidade, dinâmica e modo(s) de execução e, em muitos casos, determinando sua autoria” de um crime”.

Assim, a perícia criminal não tem como objetivo levantar dados e informações para oportunizar a melhoria da SCIP. Os dados, derivados de perícia criminal, voltam-se para a criminalística, podendo ser utilizados para mitigação de crimes. São dados e informações que são direcionados para elucidação de crimes e, secundariamente, para a prevenção e combate de atividades ilícitas.

Certamente a informação de laudos de perícia criminal elaborados pela PF possuem relevantes informações de incêndios e respectivos fatores, ações e circunstâncias. Entretanto, os dados e informações derivados de perícias criminais podem ser utilizados no aperfeiçoamento da SCIP de forma indireta. Tais dados, derivados de perícia criminais de incêndio, não se encontram facilmente disponibilizados, ainda por envolver apuração de responsabilidades e por conter informações de disponibilização restrita, via de regra.

## 2.5 A investigação de incêndio em Portugal

Semelhantemente aos demais países do mundo, causar incêndio é crime em Portugal. A investigação de incêndio em Portugal é realizada pela Polícia Judiciária (PJ), o que torna a perícia de incêndio voltada a elucidação de um crime, de forma semelhantes à Polícia Federal no Brasil. Logo, os incêndios que não tenha características de crime (incêndios naturais, incêndios acidentais, incêndios sem feridos/óbitos e incêndios sem maiores prejuízos) não são objetos de uma investigação de incêndio formal, normatizada e recorrente aos mesmos moldes de alguns locais do Brasil. Os Corpos de Bombeiros de Portugal não executam perícia de incêndio, executando apenas a intervenção (combate) quando há o sinistro de incêndio.

Portugal possui uma agência específica, centralizada, para planejar, executar políticas e traçar estratégias na prevenção e na resposta a desastres: a Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC). Essa agência também se envolve com a aplicação, fiscalização e inspeção referente ao cumprimento das leis, regulamentos, normas e requisitos técnicos<sup>[12]</sup>, de forma semelhante aos Corpos de Bombeiros do Brasil. Assim, a ANEPC levanta dados de incêndio e organiza-os em informações<sup>[13][14][15][16][17]</sup>, de forma a estudar o cenário do sinistro de incêndio em Portugal. Observa-se que não se trata de uma atividade oficial de perícia de incêndio, mas se estuda – de forma geral – os sinistros de incêndio por meio de levantamento de dados.

Louro<sup>[18]</sup> demonstra que há uma diferença entre os incêndios periciados pela PJ e o número total de incêndios registrados pela ANEPC em Portugal. Julga-se que, entre os anos de 2007 a 2009, a PJ investigou em torno de 8,4% dos incêndios totais levantados pela ANEPC. Os dados de incêndios em Portugal podem ser obtidos, por exemplo, pelo Anuário de ocorrência de proteção civil<sup>[13][14][15][16][17]</sup>, estando disponíveis no sítio eletrônico da ANEPC informações entre 2006 a 2010.

Diferentemente do Brasil, os anuários da ANEPC disponibilizam informações de incêndios, além de outras ocorrências e desastres, classificados por tipo de incêndios, tipos de edificação ou área de risco (utilização-tipo), pelos distritos de Portugal, meses do ano, entre outras divisões. Pode-se verificar dados de incêndios específicos para algumas utilizações. A Figura 32 demonstra o número de incêndios em edifícios de habitação em Portugal ao longo do ano de 2010. Percebe-se, por exemplo, em uma leitura simples, que há um aumento dos incêndios nos períodos de inverno europeu.

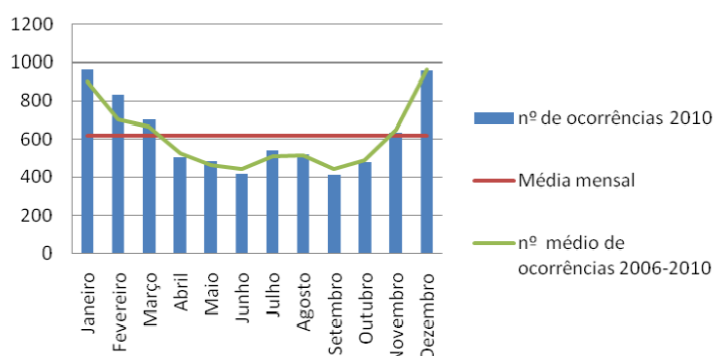


Figura 32: Distribuição distrital de incêndios em edifícios de habitação<sup>[17]</sup>

A ANEPC também disponibiliza o número total de incêndios urbanos confirmados nos últimos anos<sup>[12]</sup>, conforme Figura 33. Percebe-se ainda que Utilização - Tipo (UT), habitação unifamiliar ou multifamiliar, representam, conforme Figura 34, 78,4% dos incêndios urbanos registrados em Portugal continental. Há outras informações disponíveis no sítio eletrônico da ANEPC sobre incêndios; entretanto não se encontraram informações disponíveis

sobre as principais causas de incêndios, objetos eventualmente envolvidos no surgimento do fogo, número de feridos ou óbitos, primeiro material ignizado, tempo de combate, entre outras informações.

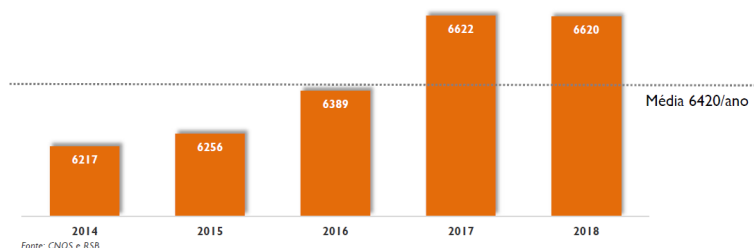


Figura 33: Número total de incêndios urbanos confirmados<sup>[12]</sup>

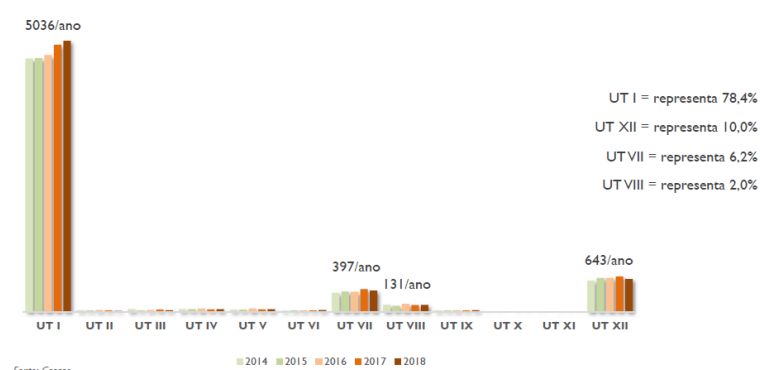


Figura 34: Número total de incêndios urbanos confirmados - Distribuição por UT<sup>[12]</sup>

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A ideia básica da atividade da perícia de incêndio é elucidar o sinistro de incêndio. Uma das possibilidades da atividade é apontar causas, apurando responsabilidades ou para prevenir repetição de sinistros similares, sendo – respectivamente – o foco da perícia criminal das Polícias do Brasil e Portugal e da investigação de incêndio dos Corpos de Bombeiros do Brasil e da ANEPC em Portugal. O estudo aqui desenvolvido prioriza o segundo foco (prevenção do incêndio) subsidiariamente ao primeiro (apuração de responsabilidades).

Perícias de incêndio são realizadas no Brasil pelos Corpos de Bombeiros Militares (CBMs) e pelas Polícias (Federal, Civil ou Científica). A perícia criminal das Polícias visa elucidação de crimes e, subsidiariamente, a mitigação de atividades ilícitas. As perícias de incêndio dos Corpos de Bombeiros Militares visam, via de regra, estudar o cenário de incêndio para avaliação de desempenho, por meio do Ciclo Operacional, e aperfeiçoamento da Segurança Contra Incêndio e Pânico. Percebe-se que são atividades similares ao compartilhar cenários de incêndio, mas distintas em sua motivação e funcionamento. Almirall<sup>[19]</sup> julga ser favorável essa distinção e funcionamento independente da investigação criminal e investigação de incêndio.

Os dados de perícias incêndio, envolvendo crime e executadas por polícias, não são usualmente disponibilizados de forma catalogada, tendo em vista haver, com certa frequência, uma necessidade de certa restrição nas informações registradas. Diferentemente das perícias criminais, os Corpos de Bombeiros Militares que executam a atividade avaliam todo tipo de incêndio, com diferentes gravidades, abrangendo um número maior de perícias de incêndio. Apesar dos dados constarem em laudos de perícia de incêndio, não são usualmente reunidos, organizados e facilmente acessíveis, nem disponibilizados publicamente em forma de informações detalhadas de incêndios.

Há certa dificuldade de se acessar os dados de incêndios ocorridos no Brasil. Encontram-se números totais de incêndios por ano em alguns estados do Brasil. Entretanto, além de não se encontrar uma fonte oficial que agregue informações de incêndio de todo o Brasil. Não se encontra um relatório nacional, em termos qualitativos, que descreva quais os principais objetos e situações relacionados com a causa de surgimento de incêndios. Não se

encontra um documento com o número total de feridos ou de óbitos. Não se verifica quais os principais fatores (humano, material ou de processo, por exemplo) relacionados ao sinistro de incêndio no Brasil.

Em Portugal, de forma muito semelhante ao Brasil, a Polícia Judiciária realiza perícias criminais em determinados incêndios, abrangendo – de 2006 a 2010 – em torno de 8,4% de todos os incêndios registrados em Portugal. Os dados e informações não são facilmente acessíveis. Não há perícias de incêndio realizadas por Corpos de Bombeiros, sendo estes responsáveis apenas pela intervenção. A ANEPC realiza a análise de incêndios, disponibilizando números e algumas informações de incêndio em Portugal continental. De forma semelhante ao Brasil, não se encontram disponibilizados e discriminados os principais objetos e situações relacionados com a causa de surgimento do incêndio, número total de feridos ou de óbitos, quais os principais fatores relacionados ao sinistro de incêndio, entre outras informações mais detalhadas.

#### **4. CONCLUSÕES**

Assim, uma das possibilidades reais da investigação de incêndio é exatamente apurar “o quê” teve desempenho eventualmente insuficiente ou inadequado no surgimento do fogo ou na propagação de incêndios. Uma das estratégias envolvendo a avaliação de desempenho é a coleta, organização e disponibilização de dados de incêndio. São necessários dados de sinistros de incêndios para realizar tal análise de desempenho.

Percebe-se uma demanda de melhor organização e disponibilização de dados de incêndio no Brasil e em Portugal. Dados que possam ir além dos números totais de incêndios, expondo fatores, circunstâncias e mais aspectos mais detalhados do sinistro de incêndio. Assim, a avaliação de desempenho é prejudicada por não haver, de forma suficiente e adequada, registro e organização de dados de incêndio. Acredita-se que a investigação de incêndio no Brasil, além da produção de laudos periciais, deve buscar o registro, organização e disponibilização de dados e informações existentes em laudos de perícia de incêndio. Boas práticas de disponibilização de dados de incêndio devem ser buscadas e estudadas para aprimoramento da atividade de investigação de incêndio.

Uma prática realizada nos Estados Unidos e Japão, por exemplo, é incluir a análise do máximo de dados de incêndios. Uma rica fonte de dados de incêndios, no Brasil, são as perícias de incêndio realizadas pelos Corpos de Bombeiros Militares. Além disso, tanto no Brasil como em Portugal, relatórios dos comandantes de socorros podem ser aperfeiçoados e utilizados para alimentar a base de dados com informações de simples apuração como, por exemplo, o horário de início do incêndio, compartimento de início do incêndio, área queimada, entre outros. Assim, tentar incluir a análise de todas as ocorrências de incêndios, por meio de relatórios do comandante de socorro, na investigação de incêndios é uma estratégia que aparenta impulsionar um eventual sistema de dados e informações de incêndios. Um sistema de investigação de incêndio, para prover e disponibilizar informações de incêndio pode ser implementado com a alimentação de dados provenientes de relatórios de ocorrências de incêndio, mesmo que simplificados, e, com dados das perícias de incêndio, no caso de incêndios maiores. Esse seria um importante ponto de partida para a implementação de um bom sistema de disponibilização de informações de incêndios no Brasil e em Portugal. Outra demanda necessária seria a padronização de relatórios e laudos de perícia que alimentassem, de forma automatizada e informatizada, um eventual sistema de disponibilização de informações de incêndios; aspectos a serem estudados em trabalhos futuros.

#### **REFERÊNCIAS**

- [1] HAMANO, K. – Sistema de prevenção contra incêndios do Japão, volume II, tradução de Sílvia Noriko Kaneyasu, Brasília, 1994.
- [2] Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – Manual de Perícia em Incêndios e Explosões, 1º ed, Brasília, 2019, 313 p.
- [3] Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – PORTARIA Nº 34, DE 1º DE NOVEMBRO DE 2017, Aprova a Política de Segurança Contra Incêndio e Pânico a ser aplicada no Distrito Federal, Diário Oficial do Distrito Federal N.º 224, Brasília, 2017, 7 p.
- [4] Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal - Anuário Estatístico do CBMDF, Seção de Estatística e Geoprocessamento do Estado Maior Brasília, CBMDF, Brasília, 2016, 88p.
- [5] Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal - Anuário Estatístico do CBMDF, Seção de Estatística e Geoprocessamento do Estado Maior Brasília, CBMDF, Brasília, 2017, 16p.

- [6] Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal - Anuário Estatístico do CBMDF, Seção de Estatística e Geoprocessamento do Estado Maior Brasília, CBMDF, Brasília, 2018, 18p.
- [7] Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal - Anuário Estatístico do CBMDF, Seção de Estatística e Geoprocessamento do Estado Maior Brasília, CBMDF, Brasília, 2019, 44p.
- [8] Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Espírito Santo (CBMES) – Norma reguladora das atividades relacionadas a perícias de incêndios e/ou explosões, Vitória, 2020, 9 p.
- [9] LUGON, A. P. – A perícia de incêndio no processo de melhoria contínua do sistema de segurança contra incêndio, Dissertação de Mestrado, UFES, 2019, 135p.
- [10] Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ) – POP exame de local de incêndio e explosão, Rio de Janeiro, 2020.
- [11] OLIVEIRA, J. L. M. – Perícia e investigação criminal: uma proposta de melhoria do modelo organizacional visando a otimização de resultados, Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, 2013, 158p.
- [12] Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC). Segurança Contra Incêndio em Edifícios em Portugal Continental, Lisboa, 2019, 27 p.
- [13] Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC). Anuário de Ocorrência de Proteção Civil, Núcleo de Riscos e Alerta, Lisboa, 2006, 38 p.
- [14] Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC). Anuário de Ocorrência de Proteção Civil, Núcleo de Riscos e Alerta, Lisboa, 2007, 42 p.
- [15] Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC). Anuário de Ocorrência de Proteção Civil, Núcleo de Riscos e Alerta, Lisboa, 2008, 51 p.
- [16] Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC). Anuário de Ocorrência de Proteção Civil, Núcleo de Riscos e Alerta, Lisboa, 2009, 46 p.
- [17] Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC). Anuário de Ocorrência de Proteção Civil, Núcleo de Riscos e Alerta, Lisboa, 2010, 41 p.
- [18] Louro, M. M. D. S. – Metodologias de análise e investigação de situações de incêndios em edifícios, Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, 2010, 196 p.
- [19] Almirall, J. R *et al* – *Forensic Science Assessments: A Quality and Gap Analysis, Fire Investigation, American Association for the Advancement of Science*, 2017, 89p.

## INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO NOS EUA E JAPÃO



**Rodrigo Almeida  
Freitas**  
Doutorando em Enga.  
Segurança ao Incêndio  
UC - Coimbra



**João Paulo Correia  
Rodrigues**  
Professor  
UC - Coimbra

### SUMÁRIO

A investigação de incêndio é executada de diferentes formas nos diversos países. Este estudo visa apresentar a motivação e funcionamento de diferentes formas de investigação de incêndio no Estados Unidos da América (EUA) e no Japão. Além disso, é apresentada a forma de disponibilização de dados de incêndios, oriundo de sinistros de incêndios. Nos EUA a investigação de incêndio visa sobretudo apurar causas e respectivas responsabilidades; já no Japão, o aprimoramento da prevenção de incêndio. Mesmo assim com motivações diferentes, há ampla divulgação de dados e informações detalhadas de incêndios em ambos os países. A organização e farta disponibilização de dados e informações de sinistros de incêndios é uma oportunidade para melhor compreender a Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP). Tais boas práticas de investigação de incêndios podem ser úteis ao Brasil e Portugal.

**PALAVRAS-CHAVE:** investigação; incêndio; prevenção; Estados Unidos; Japão.

### 1. INTRODUÇÃO

A investigação de incêndio estuda o cenário de incêndio buscando levantar e apontar aspectos, fatores e circunstâncias envolvidas no surgimento do mesmo e desenvolvimento de incêndios. O produto da investigação de incêndio é o laudo de perícia de incêndio. Um laudo de perícia de incêndio usualmente indica as causas de surgimento do fogo, entre outros detalhes do sinistro de incêndio.

A investigação de incêndio pode ser composta pelos resultados de perícias de incêndio ou por outra forma de analisar o sinistro de incêndio. Tais apontamentos podem ser úteis para indicar quais os fatores e circunstâncias mais comuns relacionadas ao sinistro de incêndio, além de indicar uma causa. A organização desses fatores podem formar um relevante diagnóstico para entender o fenômeno do incêndio em uma região ou país, revisando estratégias de SCIP.

Há potenciais modelos e instituições que podem contribuir com esse aperfeiçoamento. O presente trabalho estuda modelos de investigação de incêndio, iniciando por apresentar algumas motivações e modelos de perícia de incêndio nos Estados Unidos da América (EUA) e no Japão. Além disso, o trabalho também apresenta as diferentes disponibilizações de dados de incêndios no EUA e no Japão.

A presente pesquisa buscou a apresentação do funcionamento da investigação de incêndio nos EUA e no Japão por meio de legislações, documentos e bibliografias. Estuda-se a perícia de incêndio nos EUA, especificamente pela NFPA 921<sup>[1]</sup>. Além disso, nos EUA, estuda-se a agência *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) e os dados disponibilizados pelo *National Fire Incident Reporting System* (NFIRS). Posteriormente observa-se práticas de perícia de incêndio no Japão, em especial pelos Corpos de Bombeiros japoneses que, além a polícia local, executam a atividade de perícia de incêndio. Após verificar os documentos e dados disponibilizados pelas

instituições, tenta-se descobrir e comparar relações. Busca-se ainda apontar determinadas similaridades e diferenças em realidades de investigação de incêndio, de forma a haver contribuição à mesma atividade no Brasil e em Portugal.

## 2. A INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO NO EUA e JAPÃO

### 2.1 A investigação de incêndio nos EUA pela NFPA

Os EUA, certamente, é um dos países com maior acervo publicado de investigação de incêndio. Pode-se citar algumas organizações e corporações que possuem documentos publicados sobre o assunto e/ou reúnem profissionais dedicados ao tema: *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, *Bureau of Alcohol, Tobacco and Firearms (ATF)*, *International Association of Arson Investigators (IAAI)*, *Law Enforcement Assistance Administration (LEAA)*, *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, *United States Department of Justice, U.S. Fire Administration*, a *National Fire Protection Association (NFPA)*, entre outras agências e instituições.

Logicamente, há diversas outras associações, corporações e pessoas que publicam documentos relacionados à investigação de incêndio nos EUA; entretanto, a NFPA 921: *Guide for Fire and Explosion Investigations* é o principal documento de perícia de incêndio nos Estados Unidos. A NFPA 921 é um guia, para investigadores privados e públicos de incêndio, baseado em princípios e pesquisas científicas. O objetivo do documento é auxiliar profissionais encarregados de perícias de incêndios, em especial quanto a opinar profissionalmente quanto à origem, causa, responsabilidade ou prevenção de incêndios, incluindo os danos e ferimentos decorrentes de tais incidentes.

A primeira edição da NFPA 921, conforme histórico existente no próprio documento, foi elaborada em 1992 focando na determinação da origem e causa de incêndios e explosões em incêndio em edificações. Após várias revisões, a edição de 2004 apresentou uma seção nova chamada “analisando-se o incidente para causas e responsabilização”; a edição de 2014 trouxe uma seção adicional que estuda os “sistemas de segurança contra incêndios”. Por fim, na edição de 2017, incluíram-se diversas atualizações, o capítulo oitavo foi renomeado em “sistemas ativos de proteção contra incêndio”, pois os sistemas passivos estavam incluídos no capítulo sétimo – sistemas construtivos, entre outras revisões. Essas últimas revisões reforçam a necessidade do estudo da contribuição da proteção ativa e passiva no sinistro.

Hoje a NFPA 921 é uma das principais referências mundiais de investigação de incêndio. Nos EUA, no ano de 1993, a Suprema Corte estadunidense (*US Supreme Court*) referenciou a NFPA 921 como o “*standard of care*” na avaliação de testemunho pericial em investigações de incêndio<sup>[2]</sup>. A NAFI (*National Association of Fire Investigators*) também a adotou. O estudo da NFPA 921 torna-se referência em qualquer pesquisa ou trabalho em investigação de incêndio.

O propósito da investigação de incêndio da NFPA vai além de determinar a causa, buscando-se chegar às corretas conclusões das circunstâncias de um incêndio em particular. A NFPA 921 cita que o propósito de investigações de incêndios e explosões é geralmente mais abrangente do que apenas determinar a causa de um incêndio ou explosão e suas responsabilidades, podendo colaborar com a prevenção de incêndios. A NFPA 921 afirma que “depois de determinar a origem, causa e desenvolvimento de um caso de incêndio e explosão, o investigador de incêndio pode ser requerido a elaborar uma análise de falhas e determinar responsabilidades”. Apesar de citar de forma direta a atribuição da responsabilização em sua doutrina de investigação de incêndio, a NFPA também reforça que a investigação deve focar na elucidação da causa e nos fatores do surgimento do incêndio.

A determinação da causa de um incêndio requer a identificação dos fatores que foram necessários para que o incêndio tivesse ocorrido. Esses fatores incluem a presença de uma fonte de calor competente, o tipo e a forma do primeiro combustível ignizado, as circunstâncias, tais como falhas ou ações humanas, que permitiram os fatores encontrarem-se reunidos para iniciar o incêndio. “A função do investigador é identificar esses fatores que contribuíram para o incêndio”<sup>[1]</sup>. Percebe-se, então, que a investigação de incêndio prescrita pela NFPA prevê coleta e registro de dados específicos de sinistros de incêndio, o que favorece uma doutrina de coleta de dados de incêndios.

A NFPA, além da perícia, contabiliza dados de incêndios. As unidades de bombeiros são convidadas a responder o levantamento de dados<sup>§§§§§</sup> para compor uma estatística nacional de incêndio. Há diversos tipos de relatórios e formas de disponibilização de informações. Há, por exemplo, um relatório anual<sup>[3]</sup> que relata as perdas devidas a incêndios nos EUA e há relatórios mais específicos que analisam o incêndio em tópicos mais detalhados, por exemplo, incêndios em residências<sup>[4]</sup>. Por exemplo, a Figura 35 expõe o número total de ocorrências (em milhares) e o total de óbitos de incêndios nos EUA de 1980 a 2019. A Figura 36 expõe dados detalhados de incêndios especificamente relacionados a residências, expondo, por exemplo, as áreas de origem mais comuns e causas mais comuns de surgimento de um incêndio na sala de estar.

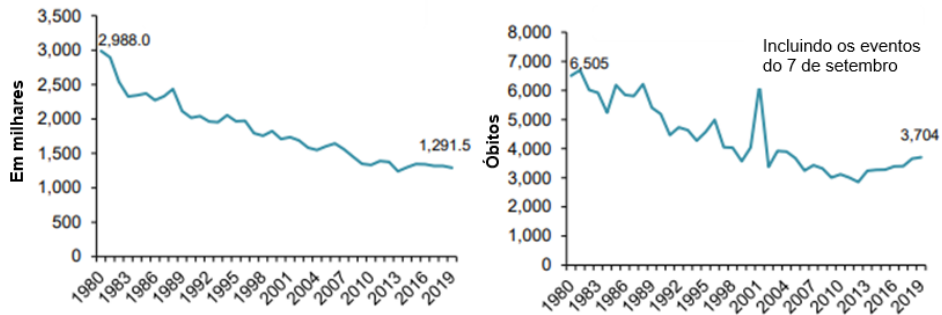


Figura 35: número de ocorrências e número de óbitos de incêndios de 1980 a 2019<sup>[4]</sup>

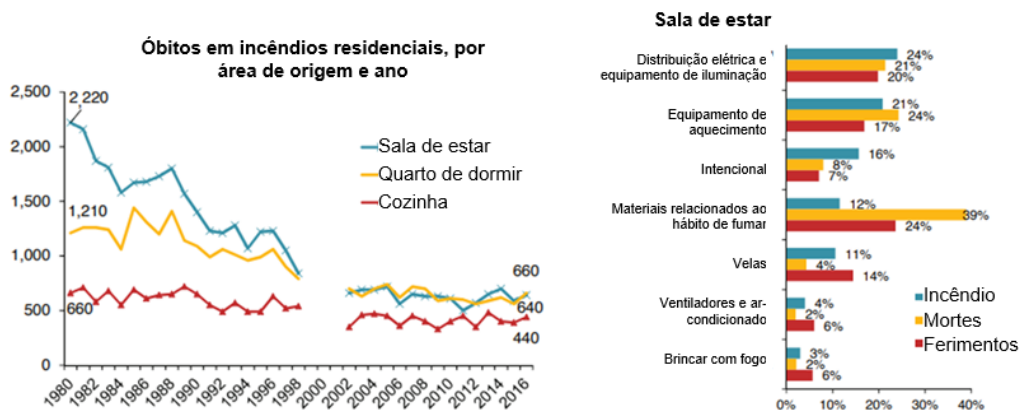


Figura 36: áreas de origem mais comuns e causas mais comuns na sala de estar<sup>[4]</sup>

## 2.2 A investigação de incêndio nos EUA pelo FEMA

O FEMA é uma agência estadunidense voltada para auxiliar a comunidade antes, durante e depois de desastres. Seus objetivos básicos são: construir uma cultura de preparação a desastres e deixar a nação pronta para desastres catastróficos. Basicamente o FEMA reúne dados de desastres e acidentes, transforma em informações de prevenção, preparo, resposta e mitigação de desastres.

O *National Fire Data Center (NFDC)* da *United States Fire Administration (USFA)* é uma divisão do FEMA responsável pelo *National Fire Incident Reporting System (NFIRS)*. Esse último reúne informações de ocorrências, acidentes e desastres dos Estados Unidos. Todos estados, unidades de bombeiros e serviços de emergência dos EUA são convidados a participar voluntariamente. Os dados reportados são padronizados e são organizados em nível local, estadual e nacional. Há diversas classificações e possibilidades de apresentação de dados: uso da propriedade sinistrada, área de origem, fonte de calor, primeiro material ignizado, causa da ignição, dados dos feridos e dos óbitos (severidade, sexo, idade, cor da pele, etnia), fatores que contribuíram pra a ignição, equipamento envolvido na ignição, propagação do incêndio, causa dos ferimentos, fatores humanos contribuintes, fatores contribuintes para os ferimentos, presença de detectores, ativação dos detectores, efetividade dos

§§§§§ *Annual Fire Experience Survey*.

detectores, sistemas automáticos de combate a incêndios, resposta quando ferido, primeiro sintoma aparente, área primariamente ferida do corpo, entre outros.

É possível consultar facilmente, por exemplo, ao longo de anos e nos EUA, o número total de incêndios. Além disso, também pode-se consultar o número total de óbitos relacionados à incêndios nos EUA. As informações<sup>[5]</sup> são de 2008 a 2017 e são apresentadas na Figura 37. O NFIRS disponibiliza outros dados mais de incêndios, tais como por exemplo as causas mais comuns de incêndios residenciais e óbitos por faixa etária e sexo, conforme Figura 38.

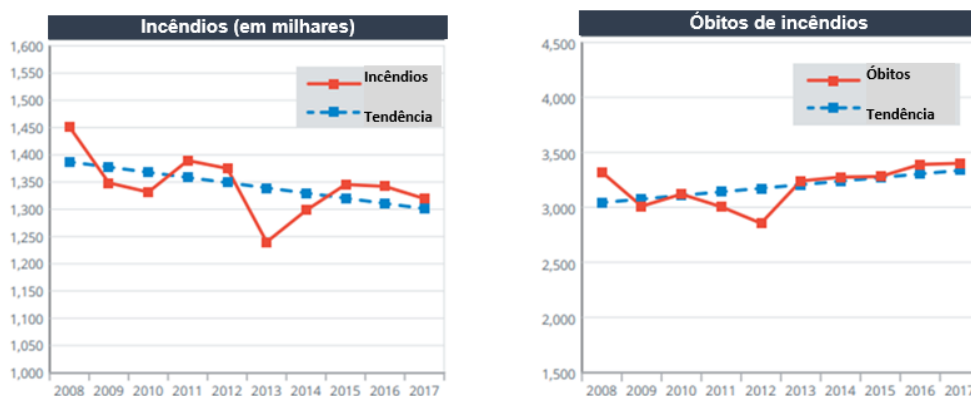


Figura 37: total de incêndios e mortes decorrentes de incêndios nos EUA, entre 2008 e 2017<sup>[5]</sup>

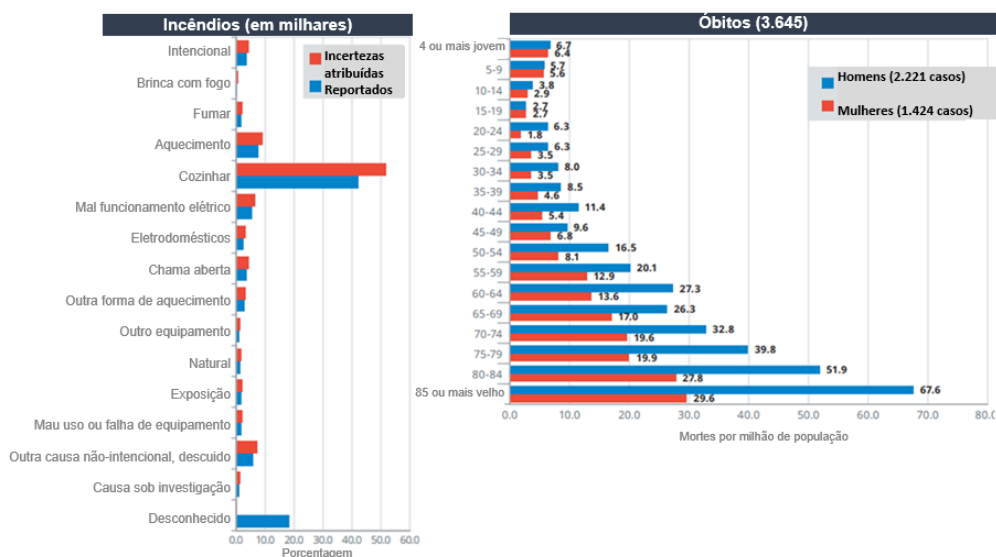


Figura 38: causas de incêndios residenciais e óbitos por faixa etária e sexo<sup>[5]</sup>

Logicamente há similaridades, diferenças e discrepâncias entre os dados de incêndio da NFPA e do FEMA. Justificam-se<sup>[5]</sup> tais situações devido às suposições, decisões e maneira de analisar e tratar dados incompletos entre as duas instituições. Além disso o NFIRS coleta, em média, dados de 20.850 unidades de bombeiro, enquanto a NFPA coleta aproximadamente dados de 3.000 unidades. Apesar disso, algumas distribuições são razoavelmente similares, conforme expõe a Figura 39.

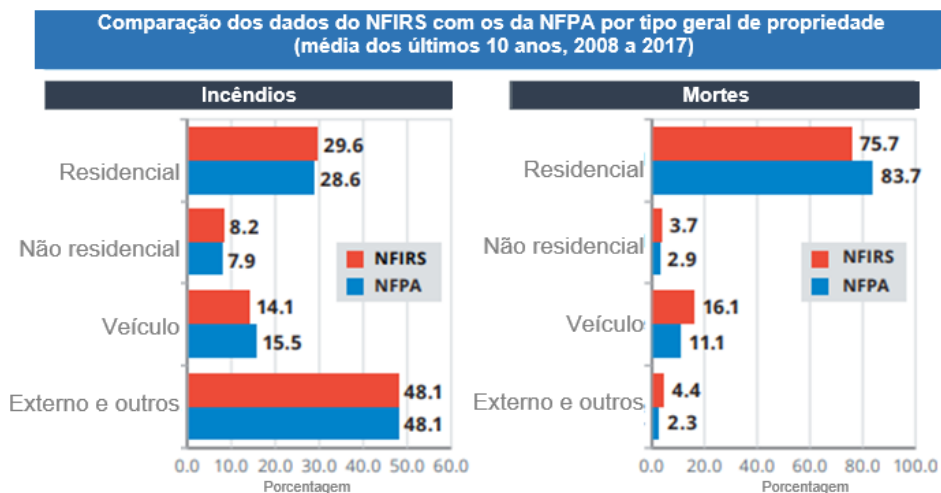


Figura 39: comparação entre dados do NFIRS e da NFPA<sup>[5]</sup>

### 2.3 A investigação de incêndio no Japão

Uma das principais legislações de prevenção de incêndio no Japão é o *Fire Service Act* ou Ato n°. 186 de 24 de julho de 1948<sup>[6]</sup>. É uma legislação que versa sobre prevenção de incêndios, materiais perigosos, inspeções, mitigação do incêndio, investigação de incêndios, serviço de ambulância e prescrições punitivas. Em especial, neste estudo, foca-se na “investigação de incêndio”, do artigo 31 ao 35.

Os principais aspectos legais envolvidos nestes artigos são os deveres e competências do comandante de bombeiros local quanto à investigação de causa de incêndios, em especial, quanto a entrevistas de pessoas relacionadas ao sinistro, requisição de informações de órgãos governamentais, investigação de bens destruídos, entre outros. A legislação base destaca que, na suspeita ou confirmação de incêndio deliberadamente causado, o comandante de bombeiro local deve comunicar o fato imediatamente à polícia local, devendo os profissionais destes dois órgãos trabalhar em cooperação mútua. A legislação também afirma, no inciso XXIII do artigo 44, que a pessoa que recusar uma investigação oficial de incêndio está sujeita a penalidades.

A investigação de incêndio inicia-se juntamente com as operações de combate, conforme explicado no documento *Fire Prevention Administration in Japan*<sup>[7]</sup>. Para fins de investigação de incêndio, é garantido ao comandante do serviço de bombeiro local o direito de realizar diligências, ouvir pessoas e demandar informações de órgãos do governo. Além disso, o próprio serviço de bombeiro e de investigação de incêndio realizado pelo bombeiro local também é estimulado a cooperar com outras agências e órgãos do governo. Em caso de crimes ou negligência, a investigação é realizada tanto pelos serviços de bombeiro quanto pela polícia local, sendo que estes dois devem cooperar entre si.

De acordo com o manual desenvolvido pela JICA<sup>\*\*\*\*\*</sup>, de autoria de Kiyoyuki Hamano<sup>[1]</sup>, em setembro de 1994, são objetivos da investigação de incêndio: “esclarecer as causas do incêndio e usá-las como material para as medidas para a sua prevenção”, “pesquisar o porquê do alastramento do incêndio ou o porquê da ocorrência de vítimas, usando tais dados como material para medidas de prevenção e de referência para a atividade de bombeiros” e “através da coleta, análise e levantamento estatístico dos dados, usá-los como material para a política geral”. A investigação de incêndio no Japão serve para fomento e implementação de futuras políticas de prevenção de incêndio.

Hamano (1994) apresenta nesse mesmo documento, como última seção do capítulo Investigação de Incêndio o significado de estatística de incêndio e respectivos modelos. A ideia intrínseca envolvida na investigação de incêndio japonesa é apresentar informações que subsidiam a prevenção de incêndio. Assim, são apresentados diversos cartões de estatística de investigação de incêndio. São 09 (nove) cartões de estatísticas bem abrangentes no levantamento de dados de incêndios. Tais dados, reunidos e organizados, permitem a elaboração de estatísticas completas sobre incêndios e investigações de incêndios. O objetivo desse levantamento de dados, conforme visto acima, é levantar tendências de incêndios e, conseqüentemente, elaborar políticas de prevenção.

\*\*\*\*\* *Japan International Cooperation Agency*, em português: Agência de Cooperação Internacional do Japão.

Por exemplo, a Figura 40 demonstra o número de ocorrências e a área queimada relacionadas a incêndios no Japão nos anos de 2001 a 2011; a Figura 41 expõe o número de óbitos e as perdas no mesmo período.

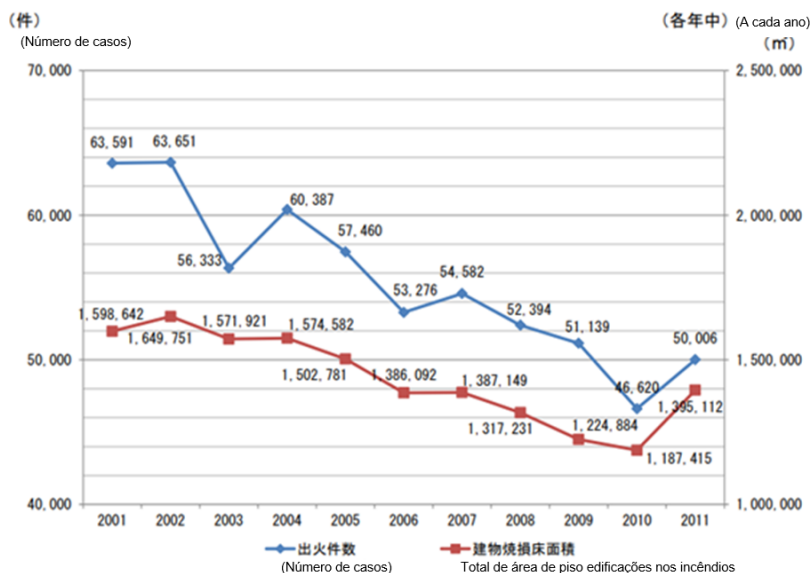


Figura 40: ocorrências e área queimada (m<sup>2</sup>) relacionadas a incêndios no Japão<sup>[7]</sup>

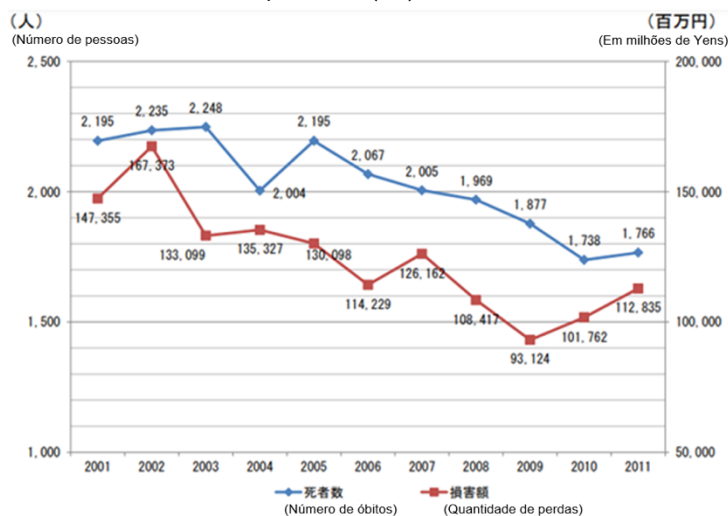


Figura 41: óbitos e perdas relacionadas a incêndio no Japão<sup>[7]</sup>

Importante observar que, na investigação de incêndio do Japão, “investigar cada incêndio levantando as suas causas e prejuízos é de extrema importância<sup>[1]</sup>”. Contudo, o objetivo não é apenas apurar causas de incêndio em determinado sinistro, pois “a compreensão estatística dos vários tipos de incêndio, analisados geral e globalmente, é absolutamente necessária para que se possa pensar em novas políticas de prevenção [...]”, visando formar uma base de “tendências observadas” para aperfeiçoamento da prevenção de incêndios.

#### 2.4 A investigação de incêndio em Tóquio

De forma a ilustrar melhor a divulgação de dados de incêndios, passa-se nesta seção final a apresentar estatísticas consolidadas de incêndios do relatório anual das atividades do Corpo de Bombeiros de Tóquio<sup>[9]</sup>, derivados da investigação de incêndio. Os dados expostos são de 2018 (Figura 42) ou dos últimos dez anos (Figura 43 e Figura 44). Há outros diversos dados, demonstrando a riqueza de detalhes nas informações disponibilizadas.

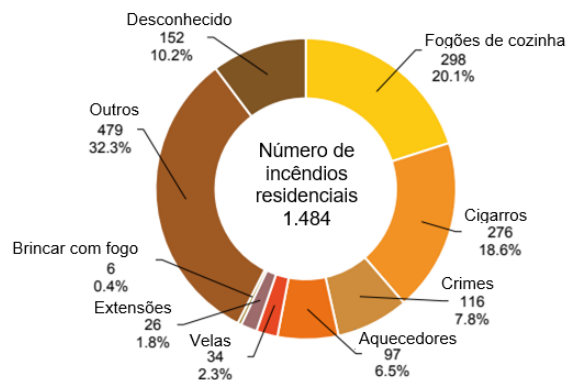


Figura 42: causas mais comuns de incêndio em residências em 2018 na cidade de Tóquio<sup>[9]</sup>

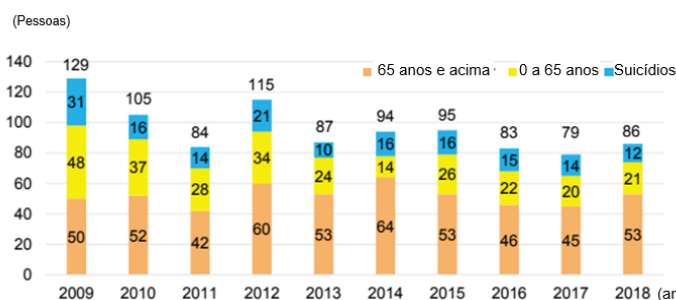


Figura 43: óbitos por faixa etária relacionados a incêndios em Tóquio<sup>[9]</sup>

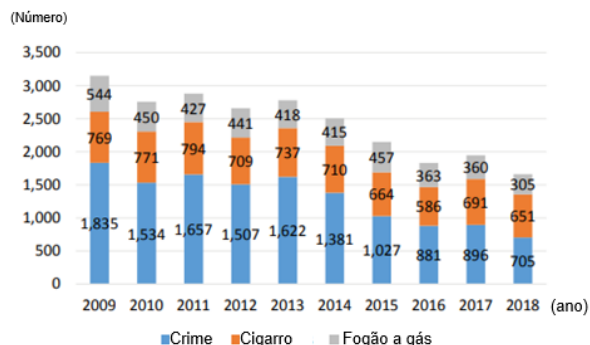


Figura 44: causas mais recorrentes de incêndios em Tóquio<sup>[9]</sup>

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em ambas as motivações da investigação de incêndio (EUA e Japão), a ideia é a perícia de incêndio que não tenha fim em estudo específico e limitado de uma determinada cena de incêndio, mas sim em contribuir e aperfeiçoar a prevenção e intervenções contra incêndios. Percebe-se que em ambos os países, há uma ampla oferta de dados relacionados ao sinistro de incêndio nos EUA e Japão. Esses dados compoem informações para melhor entendimento do cenário global de incêndio em regiões, estados e no país todo.

Nos países citados, há uma doutrina, motivação e justificação da investigação de incêndio bem estabelecida. Isso permite a harmonização de conceitos e formulários, favorecendo a coleta e registro de dados. Assim, a doutrina de investigação de incêndio favorece estatísticas de incêndio, após esses terem sido organizados de forma que proporcionem informações. Alguns benefícios do uso de dados de investigação de incêndio citados no NFIRS: mapeamento de efetivo de pessoal e de viaturas, documentação das atividades de quartéis visando justificação de investimentos, previsão de desafios futuros, aferição de performance, análise da severidade de incêndios,

desenvolvimento de campanhas, recomendações para normas e códigos, determinação de falhas de produtos, identificação de prospecção de pesquisas, entre outros. Não se exaurindo as possibilidades, chegando ao nível estadual ou federal de gerenciamento da SCIP, pode-se justificar orçamentos e projetos de lei com os dados de investigação de incêndio.

#### 4. CONCLUSÕES

Uma das possibilidades da investigação de incêndio é exatamente apurar “o quê” teve desempenho eventualmente insuficiente ou inadequado no surgimento do fogo ou na propagação de incêndios. As estratégias envolvendo a avaliação de desempenho devem incluir a coleta, organização e disponibilização de dados de incêndio. São necessários dados de sinistros de incêndios para realizar tal análise de desempenho, seja em menor ou maior abrangência de tempo e espaço. A investigação de incêndio pode muito contribuir para isso, se concebida para reunir e organizar dados de incêndios.

Percebe-se uma demanda de melhor organização e disponibilização de dados de incêndio no Brasil e em Portugal. Dados que possam ir além dos números totais de incêndios, expondo detalhes estatísticos do sinistro de incêndio. Assim, nesses países, a avaliação de desempenho é prejudicada por não haver, de forma suficiente e adequada, registro e organização de dados de incêndio. Boas práticas de disponibilização de dados de incêndio dos EUA e do Japão devem ser aproveitadas para aprimoramento da atividade de investigação de incêndio no Brasil e para melhor análise de incêndio, por exemplo, pela ANEPC, em Portugal.

Em especial, dentro dessas boas práticas, deve-se privilegiar a inclusão do máximo de dados de incêndios, buscando dados, por exemplo, dos relatórios dos comandantes de socorro, além de buscar informatização e alimentação automática por meio dos dados de relatórios de comandantes de socorro e perícias de incêndios realizadas. Para isso, é necessário haver, anteriormente, a padronização e uniformização de formulários, aos moldes do que é praticado no EUA e Japão, objetos relevantes de futuros estudos de investigação de incêndio.

#### REFERÊNCIAS

- [1] *National Fire Protection Association (NFPA) – NFPA 921, Guide For Fire and Explosion Investigations*, Quincy, 2017, 433 p.
- [2] Lentini, J. J. – *The standard of care in fire investigation*, 2009, p. 14.
- [3] Ahrens, M., Everts B. *Fire loss in the United States during 2019, Fire Analysis and Research Division*, Quincy, 2020, 11p.
- [4] Ahrens, M. – *Home structure fires, National Fire Protection Association, Fire Analysis and Research Division*, Quincy, 2018, 14p.
- [5] *U.S. Fire Administration – Fire in the United States 2008-2017, 20th edition*, Emmitsburg, 2019, 104p.
- [6] *International Fire Service Information Center (IFSIC) – Fire service act*, Tóquio, 2015a, 86 p.
- [7] *International Fire Service Information Center (IFSIC) – Fire Prevention Administration in Japan*, Tóquio, 2013, 100 p.
- [8] Hamano, K. – *Sistema de prevenção contra incêndios do Japão, volume II, tradução de Sílvia Noriko Kaneyasu*, Brasília, 1994.
- [9] *Tokyo Fire Department (TFD), Annual Report 2019, Administration Section*, Tóquio, 2020, 58 p.

# CONCRETOS GEOPOLIMÉRICOS DE CINZAS VOLANTES E SUA APLICAÇÃO EM PROJETOS DE SEGURANÇA AOS INCÊNDIOS



**João Leal Vivian**  
Aluno de Doutorado  
UC - Coimbra



**João Paulo Correia Rodrigues**  
Professor  
UC - Coimbra

## SUMÁRIO

A engenharia de segurança aos incêndios, com investigações avançadas no comportamento das estruturas e dos materiais de construção civil, é protagonista na redução de indicadores de perdas humanas e patrimoniais decorrentes de incêndios em edificações. O concreto geopolimérico a partir da álcali-ativação de aluminossilicatos oriundos de resíduos industriais é um promissor material de construção civil, alternativo ao concreto de cimento Portland, com desempenho adequado quando submetido a altas temperaturas. As cinzas volantes de carvão mineral, um subproduto industrial abundante da região sul do Brasil, possuem características físico-químicas para a geopolimerização de compósitos cimentícios. Evidências técnicas no estado atual do conhecimento em concretos geopoliméricos de cinza volantes quando submetidos a altas temperaturas indicam que as características físico-química da matéria prima precursora e de adições minerais e químicas, a composição das soluções alcalinas ativadoras, mineralogia dos agregados, a água da mistura e as configurações de cura, influenciam diretamente nas propriedades mecânicas residuais dos concretos, demonstrando assim a viabilidade de obtenção de dosagens de concretos geopoliméricos de cinzas volantes de carvão mineral para aplicação em estruturas e revestimentos resistentes ao fogo.

**PALAVRAS-CHAVE:** concreto geopolimérico; cinzas volantes, altas temperaturas, propriedades físico-químicas.

## 1. INTRODUÇÃO

Geopolímeros são materiais cimentícios alternativos sintetizados pela combinação de cinzas volantes ou escórias granuladas de alto forno com soluções alcalinas fortes como hidróxido de potássio (KOH), hidróxido de sódio (NaOH) e silicatos solúveis, onde a alumina e a sílica sofrem geopolimerização para formar uma rede tridimensional de aluminossilicato amorfa com resistência semelhante ou superior à do concreto de cimento portland [2].

O princípio básico e simplificado da formação de geopolímero à base de cinzas volantes é a decomposição de aluminossilicato facilitada por álcalis na cinza volante e depois a policondensação. As reações podem prosseguir sob temperaturas normais, de modo que a produção é considerada eficiente em energia e fonte, ou seja, muito mais limpa. Aparentemente, há reações entre cinza volante e álcali e condensação entre as espécies de  $\text{Si}^{4+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  resultantes, seguidas por nucleação, oligomerização, epolimerização, que finalmente leva a um novo polímero baseado em aluminossilicato com nova estrutura de rede tridimensional amorfa. A pasta geopolimérica à base de cinzas volantes é moldada e curada em temperatura controlada ou ambiente durante um período específico para formar um compósito/concreto geopolimérico, figura 1 [3].

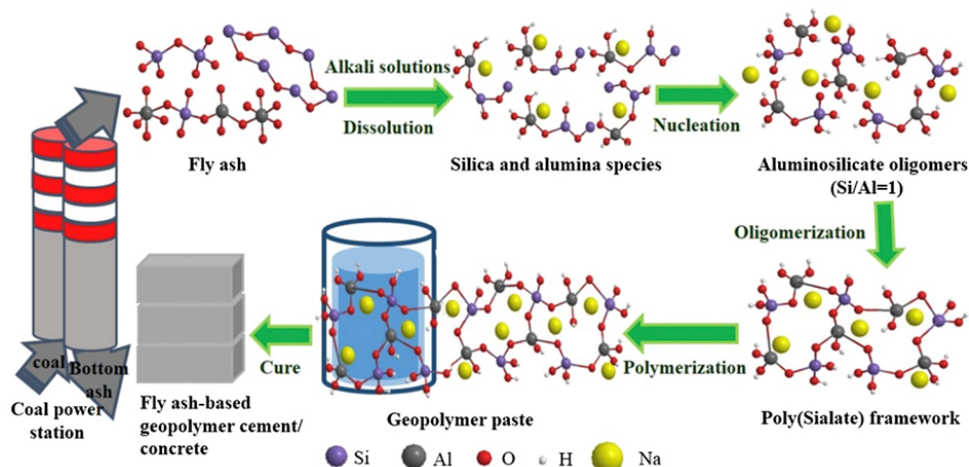


Figura 1 - Obtenção de concreto geopolimérico à base de cinzas volantes [3]

## 2. CINZAS VOLANTES DE CARVÃO MINERAL: MATÉRIA-PRIMA PERCURSORA

As cinzas no sul do Brasil são originadas da combustão de carvão pulverizado em leito, conhecido como de arraste. A combustão em leito de arraste é o sistema mais importante no sul do Brasil, uma vez que é utilizado na maioria das termelétricas do Brasil, responsáveis por cerca de 95% do consumo do carvão mineral energético brasileiro. O processo apresenta inúmeras vantagens sobre os demais. A combustão do carvão em pó permite a mistura homogênea e íntima entre este e o ar de combustão, proporcionando excelente queima, mesmo com combustíveis de qualidade inferior. A combustão do carvão pulverizado produz em média 75% de cinza volante e 25% de cinza de fundo. As cinzas de fundo por apresentarem uma granulometria mais grosseira, caem no fundo da fornalha. Já as cinzas volantes, sendo constituídas de partículas muito finas, acompanham os gases de combustão [1].

As características físico-químicas das cinzas volantes sul brasileiras estão muito relacionadas com as características dos carvões que lhe dão origem, em sua maioria carvão sub-betuminoso. Tratam-se de carvões cuja matéria orgânica, em grande parte, apresenta-se microfragmentada e intimamente misturada a matéria mineral, tornando muito difícil a sua separação e concentração por meios convencionais de beneficiamento de carvão. Os teores de cinzas, resultantes da combustão destes carvões, determinados ao longo de várias décadas, tem revelado uma grande uniformidade representando aproximadamente 50% da massa do carvão. Mais de 90% das cinzas de carvão pulverizado consistem de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Óxidos de cálcio, magnésio, sódio, potássio, titânio e outros podem também estar presentes em baixos teores, conforme quadro 1 [1].

Quadro 1 - Composição química de cinzas volantes sul-brasileiras obtidas a partir da queima de carvão pulverizado em usinas termelétricas e unidades do segmento industrial [1]

CONSTITUINTES MENORES E MAIORES	BRASKEM (%)	CELULOSE RIOGRANDENSE (%)	TERMELÉTRICA PRESIDENTE MÉDICI(CGTEE) (%)	TEMELÉTRICA JORGE LACERDA (%)
SiO <sub>2</sub>	64,40	59,40	65,70	56,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,20	27,50	20,30	28,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,50	2,10	4,60	6,40
TiO <sub>2</sub>	0,80	1,15	0,69	1,31
CaO	2,15	2,20	0,37	0,92
MgO	0,88	0,43	0,46	0,45
K <sub>2</sub> O	1,41	1,10	1,12	2,50
Na <sub>2</sub> O	0,34	0,12	0,10	0,23
C	0,14	1,19	0,05	0,21
S	0,09	0,09	<0,05	<0,05

Um dos principais fatores para a escolha do material precursor é a razão SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. As cinzas volantes sul-brasileiras indicam produtos adequados para geopolimerização e composição de concretos, razão SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 2,0 a 3,5.

Para adotar as cinzas volantes como adições pozolânicas nos concretos de cimento portland no Brasil, são recomendados critérios de pozolanicidade e granulometria. Podemos extrapolar esses critérios para aplicação das cinzas volantes nos concretos geopoliméricos. As cinzas volantes devem apresentar índice de atividade pozolânica com cimento Portland, aos 28 dias, igual ou superior a 90% e índice de atividade pozolânica com cal, aos 7 dias, igual ou superior a 6,0 MPa. Na caracterização física das cinzas é recomendado que os resíduos retidos na peneira de abertura de malha 45µm seja menor de 20% [5].

### 3. SOLUÇÃO ALCALINA ATIVADORA

A álcali-ativação, muitas vezes chamada de geopolimerização, é um processo químico que permite transformar estruturas vítreas (parcialmente ou totalmente amorfas e/ou metaestáveis) em um composto bem compacto e cimentante. Para ocorrer a polimerização, é necessário um meio fortemente alcalino para ser possível dissolver certa quantidade de sílica e alumina, assim como hidrolisar a superfície das partículas das matérias-primas. Este ambiente pode ser conseguido por meio do uso de soluções alcalinas, de forma simples ou combinada, denominadas ativadoras [4].

Entre as soluções ativadoras mais utilizadas no preparo dos concretos geopoliméricos se destacam soluções de hidróxido de sódio (NaOH), de potássio (KOH), bem como silicatos de sódio (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) e de potássio (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), podendo ou não haver combinação entre hidróxidos e silicatos. O fator que influencia na geopolimerização é a molaridade da solução. Estudos apresentam soluções com molaridades de 4 mol/litro a 16 mol/litro. Em elevadas temperaturas estudos demonstram que a química do hidróxido ou silicato, combinado com as características físico-químicas da matéria-prima precursora apresentam comportamentos distintos.

Em um comparativo dos efeitos do aquecimento a 800-1200° C no geopolímero feito de cinza volante com baixo teor de cálcio ativada por soluções alcalinas de hidróxido de sódio (NaOH) e hidróxido de potássio (KOH), respectivamente. O geopolímero ativado por NaOH teve uma rápida deterioração da resistência a compressão e uma alta retração a 800°C devido a um aumento dramático do tamanho médio dos poros, enquanto o outro geopolímero ativado por KOH mostrou um aumento significativo da resistência à compressão após o aquecimento e a deterioração da resistência só começou a 1000° C [6].

Para os concretos geopoliméricos, a aplicação prática do material deve ser em temperaturas menores que a temperatura crítica. Em alguns estudos foi observado que a mudança do cátion alcalino na solução ativadora dos geopolímeros de Na<sup>+</sup> para K<sup>+</sup> aumentou a temperatura crítica de 590° C para 800° C. Foi relatado que isso se deve

ao fato de a ligação Na-O ser mais curta que a ligação K-O, o que significa que o íon Na<sup>+</sup> teve um maior efeito enfraquecedor nas ligações T-O-T (T é Al ou Si). Como tal, é provável que as propriedades térmicas dos concretos neste estudo possam ser significativamente melhoradas usando uma solução de ativação à base de K<sup>+</sup> [7].

Compósitos geopoliméricos com cinzas volantes submetidos a elevadas temperaturas foram estudados, as amostras foram aquecidas até 800° C para avaliar a perda de resistência devido à degradação térmica. Os resultados mostraram que a proporção de cinza volante/ativador parecia ser o parâmetro mais crítico no que diz respeito às resistências mecânicas e ao fogo de pasta geopolimérica. Dentre as composições estudadas, a combinação ótima para o desempenho a elevadas temperaturas foi atingido com Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/KOH = 2,5 e cinza volante/ativador = 3,0. O geopolímero à base de cinza volante exibiu aumento na resistência mecânica depois da exposição à temperatura, que foi atribuído a uma combinação de reação de polimerização e de sinterização a temperaturas elevadas. Porém, quando incluíram agregados na matriz, a resistência mecânica reduziu, sugerindo que este declínio tenha sido causado pela expansão térmica diferencial entre o geopolímero e os agregados. Ensaio dilatométricos separados mostraram que, enquanto os agregados expandiam quando submetidos a temperaturas elevadas, a matriz geopolimérica experimentava contração [8].

Alguns parâmetros sobre as características químicas do material precursor e das soluções alcalinas ativadoras na formulação dos geopolímeros são recomendados as seguintes razões molares para obtenção de melhores resultados: 1) SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: entre 3,50-4,50; 2) Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: entre 0,80-1,20; 3) H<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O : entre 15-17,50; 4) Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub>: entre 0,20-0,28 [9].

#### 4. INFLUÊNCIA DE ADIÇÕES QUÍMICAS E MINERAIS

Existem adições que propiciam ajustes na mistura tanto no estado fresco, como auxiliando em melhorias no desempenho estrutural no estado endurecido. A reatividade das cinzas volantes de carvão mineral é um ponto de atenção que afeta significativamente as razões SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> recomendadas para geopolimerização. Portanto muitas vezes há a necessidade de realizar adições químicas ou minerais mais reativas para otimizar os resultados de polimerização das cadeias de oligômeros de aluminossilicato.

A cinza de casca de arroz é um subproduto da indústria agrícola que, se produzido por combustão controlada pode apresentar elevada atividade pozolânica/reactividade, sendo constituída sobretudo por sílica amorfa e apresenta uma superfície específica elevada resultante da estrutura celular da casca. É um resíduo abundante no sul do Brasil e vem sendo usado na construção civil como pozolana artificial e em dosagens de concretos tradicionais de cimento portland. Contém na sua composição 90% de SiO<sub>2</sub> o que confere ao resíduo ótimas características, podendo corrigir a razão real SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com relação a reatividade das cinzas volantes. Com a adição da cinza da casca de arroz se espera dois comportamentos, contribuindo com o processo de polimerização da mistura com a componente sílica amorfa contida na cinza de casca de arroz e o outro comportamento auxiliando na composição do concreto geopolimérico, como no refino e compactação da mistura, contribuindo em ambos os casos para as propriedades mecânicas em altas temperaturas.

A adição de hidróxido de cálcio ou cal hidratada, com plena utilização em argamassas de revestimentos, pode ter um papel importante na formação de alguns géis, o que pode contribuir tanto em um incremento nas propriedades mecânicas, como também no comportamento a altas temperaturas, em função da cal hidratada reagir com a sílica não reagida no processo de polimerização, como pode otimizar as propriedades no estado fresco da mistura, como por exemplo, plasticidade. O componente cálcio, a partir da cal virgem (calcítica ou dolomítica), ao ser adicionado na mistura contribui também no tempo de pega da mistura e auxilia na temperatura de cura dos concretos. No sul do Brasil temos duas cales, a calcítica e a dolomítica, material extremamente barato e com alta disponibilidade. A disponibilidade da cal dolomítica predomina em regiões fornecedoras do subproduto cinza volante, apresentando em sua composição óxidos de magnésio e resíduos insolúveis em relação as cales calcíticas. Uma das características das cales dolomíticas comparadas as calcíticas estão relacionadas as reações mais lentas no processo de endurecimento, podendo ser favorável ao estudo esse pequeno percentual de magnésio. Em estudos de concretos geopoliméricos com a adoção da escória de alto forno, que tem a presença de óxidos de cálcio e magnésio, não foi relatado nenhum inconveniente na geopolimerização a presença de magnésio, assim justificando a escolha das cales como um produto aditivo aos concretos geopoliméricos que serão dosados a partir da alcali-ativação de cinzas volantes.

O uso de  $\text{Ca(OH)}_2$  como aditivo para sintetizar o geopolímero à base de cinzas volantes formou o gel C-S-H e ajudou as diferentes formações minerais e processos de transformação a temperaturas elevadas [10].

Em estudos com geopolímero à base de cinzas volantes foi investigado a influência da adição de hidróxido de cálcio quando submetidos às elevadas temperaturas. Quando o geopolímero exposto a temperaturas superiores a  $600^\circ\text{C}$ , a sodalita e os aluminossilicatos amorfos foram formados e, em seguida, eles foram transformados em nefelina, resultando em uma estrutura mais densa. Como a temperatura foi aumentada, a nefelina foi convertida em albita. O geopolímero à base de cinzas volantes com adição de 8% de  $\text{Ca(OH)}_2$  foi a adição para a preparação que teve a maior resistência e a menor retração com a maior quantidade de nefelina a  $800^\circ\text{C}$  e de feldspato a  $1000^\circ\text{C}$  [11].

As escórias de alto forno, podem ser um subproduto industrial substituto aos compostos acima. Conforme suas características físico-químicas, podem agregar em uma única adição a capacidade de equilibrar o teor de cálcio e a razão real de  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  necessários para melhorar o desempenho dos concretos. Existem diversos estudos que comprovam a viabilidade das escórias de alto-forno serem adicionadas as cinzas volantes na composição da matéria-prima precursora, respeitando características físico-químicas. O óxido de cálcio contido nas escórias de alto forno, podem também serem adicionados de uma fonte externa como aditivo na mistura. Os mesmos devem auxiliar no tempo de pega e na temperatura necessária de cura dos compósitos, devendo ter atenção no percentual adequado de uso, pois pode haver uma pega instantânea, bem como reações de géis hidratados, que atrapalham a geopolimerização, e conseqüentemente, o comportamento a altas temperaturas pois nesses géis e pasta endurecida, há presença de água adsorvida, um dos principais pontos de atenção aos deslocamentos nos concretos de cimento portland quando submetidos a temperaturas elevadas.

## 5. COMPORTAMENTO AS ALTAS TEMPERATURAS

Na dosagem dos concretos geopoliméricos podemos adotar alguns conceitos já consagrados na tecnologia dos concretos de cimento portland. Podemos adotar metodologias de dosagens existentes e consagradas para os concretos de cimento portland, substituindo o aglomerante e a água da mistura pelos componentes geopoliméricos: matéria prima-precursora e a solução alcalina ativadora. Por outro lado, quando estamos nos referindo ao comportamento a altas temperaturas a mineralogia dos agregados tem papel fundamental no desempenho dos concretos de cimento portland, pois constituem 60 a 70% da composição do traço, ou seja o uso de agregados mais estáveis termicamente com uma redução na pasta de aglomerante, pode trazer ganhos significativos nesse comportamento. A natureza dos minerais nos agregados é preponderante no valor da condutividade térmica do concreto endurecido: o basalto, baixa condutividade; os calcários calcítico e dolomítico possuem condutividade média e o quartzo, condutividade mais elevada. A condutividade térmica é a propriedade térmica do concreto que mede a capacidade do material conduzir o calor. Análoga à condutividade, a difusividade térmica no concreto também é diretamente influenciada pelo tipo de agregado: basalto, granito, calcário, e quartzito conduzem, respetivamente, a concretos com difusividade crescente. Além de agregados tradicionais, podemos também explorar na composição dos concretos geopoliméricos os agregados leves: argila expandida, vermiculita e outras.

Os danos induzidos termicamente causados pelos agregados podem ser reduzidos produzindo concreto com baixa expansão térmica ou agregado poroso. Os agregados de argila expandida são considerados adequados para esse fim, principalmente quando não são necessárias altas forças de compressão. Os agregados de argila expandida são produzidos pela queima da argila a temperaturas superiores a  $1000^\circ\text{C}$  para formar pastilhas porosas e leves de vários tamanhos. O uso de agregados de argila expandida em um concreto reduz significativamente a densidade e a condutividade térmica. Os agregados de argila expandida são termicamente estáveis até  $1000^\circ\text{C}$  e, como tal, são altamente adequados para uso em concretos resistentes a altas temperaturas [7].

Nos estudos de concretos geopoliméricos à base de quartzo e com concretos geopoliméricos de argila expandida com a mesma composição de pasta, o agregado de quartzo produziu um concreto de alta resistência, embora a alta expansão térmica durante o aquecimento tenha produzido propriedades térmicas mais baixas quando comparada ao concreto de argila expandida. O concreto argiloso expandido tinha uma resistência à compressão modesta, embora exibisse expansão térmica muito baixa e boa retenção de resistência até  $750^\circ\text{C}$ . Foi determinado que a desidratação a temperatura de  $300^\circ\text{C}$  causou danos substanciais nos concretos geopoliméricos, um efeito mais severo no geopolímero agregado de quartzo devido à sua menor permeabilidade. A altas temperaturas

(temperatura  $\geq 500^\circ \text{C}$ ), os concretos geopoliméricos exibiram vantagens significativas de resistência em relação aos materiais convencionais. Relataram também que o efeito do tipo agregado no desempenho térmico do concreto geopolimérico foi análogo ao efeito equivalente relatado para concretos convencionais. A grande expansão térmica do agregado de quartzo levou a maiores perdas de resistência quando comparado ao concreto argiloso expandido. Verificou-se que a sinterização promoveu a recuperação de trincas nas amostras, permitindo que os concretos geopoliméricos recuperassem a força após sofrer fissuras significativas [7].

A água contida na solução alcalina, expelida da matriz geopolimérica durante os períodos de cura e secagem, deixa para trás nano-poros na matriz, que trazem benefícios para o desempenho dos geopolímeros. A água extra usada na mistura de geopolímeros à base de cinzas volantes com baixo teor de cálcio, portanto, não desempenha papel direto na reação química que ocorre; apenas fornece a trabalhabilidade da mistura durante o manuseio. Isso contrasta com a reação química da água em uma mistura de concreto de cimento portland durante o processo de hidratação. No entanto, uma pequena proporção de materiais de origem ricos em cálcio, como escória, pode ser incluída no material de origem, a fim de acelerar o tempo de endurecimento e alterar o regime de cura adotado para a mistura de geopolímeros. Nessa situação, a água da solução alcalina liberada durante a geopolimerização reage com o cálcio presente para produzir produtos de hidratação, se assemelhando nesse caso ao comportamento da água dos concretos de cimento portland [12].

Os aditivos superplastificantes e as adições minerais são um dos principais protagonistas na tecnologia dos concretos de cimento portland de alto desempenho capazes de reduzir a relação água/aglomerante, proporcionando não somente elevar a resistência do concreto, como também proporcionar melhor fluidez, maior rigidez, maior resistência a flexão, menor permeabilidade, maior resistência a abrasão e maior durabilidade, tem potencializado a popularidade do uso do concreto de cimento portland de alto desempenho em obras de engenharia civil. Nos concretos geopoliméricos de cinzas volantes a contribuição da adição de aditivos superplastificantes atua com melhorias de trabalhabilidade em determinadas combinações do agente superplastificante com a solução alcalina. Alguns autores relatam ganhos modestos no estado fresco dos concretos geopoliméricos com relação aos ganhos nos concretos de cimento portland, afetando inclusive reações de geopolimerização e propriedades mecânicas e térmicas residuais quando submetidos a altas temperaturas. Cada processo e aplicação devem ser estudados, equilibrando ganhos de trabalhabilidade no estado fresco com perda de propriedades no estado endurecido.

A cura dos concretos geopoliméricos de cinzas volantes é um capítulo a parte e precisa traçar as condicionantes de cada processo produtivo e a aplicação desejada. Podemos aplicar o concreto geopolimérico em estruturas e revestimentos moldados ou pré-moldados, bem como desenvolver produtos para aplicação no local para manutenções. Temos a cura em temperatura ambiente, temperaturas elevadas, cura seca ou úmida, micro-ondas e as curas compostas com a previsão de utilização de diversos processos para obter os melhores resultados com os geopolímeros. Cada processo e aplicação, devem ser estudado a fim de otimizar o desempenho dos concretos.

## 6. CONCLUSÕES

Evidências técnicas no estado atual do conhecimento em concretos geopoliméricos de cinza volantes demonstram sua viabilidade para aplicações em projetos de segurança contra incêndios. Alguns autores relatam a complexidade envolvida na tecnologia dos concretos geopoliméricos e apontam um elevado número de incógnitas a serem observadas como um complicador para a aplicação em escala industrial e comercial no mercado da construção civil e correlatos. Mas adaptando aprendizados da tecnologia dos concretos de cimento portland bem como observando aspectos de dosagem que influenciam diretamente as propriedades mecânicas e térmicas dos concretos geopoliméricos de cinzas volantes é possível a sua aplicação em estruturas e revestimentos resistentes ao fogo.

As características físico-química da matéria prima precursora é um aspecto fundamental, pois é a base para qualquer processo de geopolimerização. As cinzas volantes devem possuir razão  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  acima de 3,0. Os parâmetros de pozolanicidade e granulometria das cinzas volantes devem atender os critérios descritos acima podendo ou não receber tratamento prévio, como moagem.

A composição das soluções alcalinas ativadoras é o segundo aspecto mais importante para o processo de geopolimerização. As soluções podem ser somente com hidróxidos ou compostas por hidróxidos combinados com silicatos. Os resultados mais promissores em projetos de mistura dos concretos geopoliméricos submetidos a altas temperaturas, indicam o hidróxido de potássio (KOH) combinado com Silicato de Sódio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) como os mais promissores. Os indicadores de dosagem, sugerem a adoção dos seguintes critérios:  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{KOH} = 2,5$  e cinza volante/ativador = 3,0.

A reatividade das cinzas volantes de carvão mineral é um ponto de atenção que afeta significativamente as razões  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  recomendadas para geopolimerização. Portanto muitas vezes há a necessidade de realizar adições químicas ou minerais mais reativas para otimizar os resultados de polimerização das cadeias de oligômeros de aluminossilicato. No sul do Brasil há dois materiais abundantes que podem contribuir na dosagem e desempenho dos concretos geopoliméricos de cinzas volantes: cinza da casca do arroz e as cales. As cinzas da queima da casca de arroz como um aditivo para ajustar a razão  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  e a reatividade da matéria prima precursora. As cales podem ser adotadas para melhorar a trabalhabilidade da mistura em estado fresco, bem como contribuir para formações de géis com os subprodutos da geopolimerização, bem como auxiliar no processo para a cura em temperatura ambiente. Autores recomendam que as adições com melhores resultados foram de 8%. Autores relatam que a formação de géis C-S-H com os subprodutos da geopolimerização e quando submetidos as altas temperaturas auxiliam nas transformações químicas resultando em compostos de maior desempenho. As escórias de alto forno, podem ser um subproduto industrial substituto aos compostos acima, agregando em uma única adição a capacidade de equilibrar o teor de cálcio e a razão real de  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  necessários para melhorar o desempenho dos concretos.

A mineralogia dos agregados possui comportamento nos concretos geopoliméricos de cinzas volantes semelhante ao comportamento nos concretos tradicionais de cimento portland, podendo ser adotado e adaptadas as metodologias tradicionais da tecnologia dos concretos de cimento portland.

A água contida na solução alcalina dos concretos geopoliméricos são expelidas nas reações de geopolimerização deixando nano-poros, sendo benéfico ao comportamento quando submetidos as altas temperaturas. O uso da água extra para a trabalhabilidade no estado fresco precisa ser adotado com cautela, pois combinada com material não reagido no processo de geopolimerização cria uma reserva de água adsorvida nos géis de hidratação e conseqüentemente na pasta endurecida, podendo ser um ponto frágil ao comportamento as altas temperaturas.

A tecnologia dos concretos geopoliméricos a partir de dosagens adequadas para o uso em altas temperaturas apresentam desempenho melhorado em relação aos concretos de cimento portland, o que demonstra a viabilidade técnica para a aplicação dos concretos geopoliméricos como estruturas e revestimentos resistentes ao fogo aptos para a aplicação em projetos de segurança contra incêndios, com materiais de origem do sul do Brasil.

Quadro 2: Recomendações para dosagem de concretos geopoliméricos de cinzas volantes

Matéria Prima Precursora	Solução Alcalina Ativadora	Adições Minerais	Agregados
Razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ acima de 3,0.	KOH + $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , 4 a 16 mol/litro	Cinza da Casca de Arroz: % para otimizar razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	Dosagem e comportamento semelhante a tecnologia do concreto de cimento Portland.
Pozolanicidade	$\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{KOH} = 2,5$		
Granulometria	Cinza/ativador = 3,0	CaO ou $\text{Ca}(\text{OH})_2$ máximo 8%	

A aplicação dos concretos geopoliméricos na área de segurança contra incêndios, mais especificamente produto resistente ao fogo, ainda é pouco explorado em nível mundial. Apesar do desempenho adequado quando submetidos a altas temperaturas, as aplicações estão voltadas para os produtos de construção civil, mas que de certa forma já atendem exigências normativas com requisitos de segurança contra incêndios, como resistência e reação ao fogo. Os concretos geopoliméricos a partir de cinzas volantes, um subproduto da combustão de carvão mineral em termoelétricas com alta disponibilidade no sul do Brasil, possuem um promissor e amplo espaço para

desenvolvimentos de pesquisas e transferência de tecnologia para a indústria com o foco em produtos para aplicação em projetos de segurança contra incêndios.

## REFERÊNCIAS

- [1] Malmann, J. E. C. - *Metodologia de dosagem racional do concreto compactado com rolo (CCR) usando cinza volante de carvão e cal hidratada em substituição ao cimento portland*, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018, 221 p.
- [2] Silva, P. De, Sagoe-Crenstil, K., & Sirivivatnanon, V. (2007). *Kinetics of geopolymerization: Role of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub>*. Cement and Concrete Research, 37, 512–518.
- [3] Yu, X., Chen, L., Komarneni, S., & Hui, C. (2016). *Fly ash-based geopolymer: clean production, properties and applications*. Journal of Cleaner Production, 125, 253–267.
- [4] Rocha, T. da S. (2017). *Argamassas geopoliméricas com diferentes ativadores alcalinos e seus comportamentos frente à elevação da temperatura*, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2017, 94 p.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2014) – Norma Brasileira - NBR 12653: Materiais Pozolânicos – Requisitos.
- [6]. Bakharev, T.. (2006). *Thermal Behaviour of Geopolymers Prepared Using Class F Fly Ash and Elevated Temperature Curing*. Cement and Concrete Research. 36. 1134-1147.
- [7] Rickard, W. D. A., Gluth, G. J. G., & Pistol, K. (2016). *Cement and Concrete Research In-situ thermo-mechanical testing of fly ash geopolymer concretes made with quartz and expanded clay aggregates*. Cement and Concrete Research, 80, 33–43.
- [8] Kong, D. L. Y., & Sanjayan, J. G. (2008). *Cement & Concrete Composites Damage behavior of geopolymer composites exposed to elevated temperatures*. Cement and Concrete Composites, 30(10), 986–991.
- [9] Yun-Ming Liew, Cheng-Yong Heah, Al Bakri Mohd Mustafa, Hussin Kamarudin (2016). *Structure and properties of clay-based geopolymer cements: A Review*. Progress in Materials Science. 83, 595–629.
- [10]. Xiao Yu Zhuang, Liang Chen, Sridhar Komarneni, Chun Hui Zhou, Dong Shen Tong, Hui Min Yang, Wei Hua Yu, Hao Wang (2016), Fly ash-based geopolymer: clean production, properties and applications, Journal of Cleaner Production, 125, 253-267.
- [11]. Dombrowski-Daube, K. & Buchwald, A. & Weil, Marcel. (2007). *The Influence of Calcium Content on the Structure and Thermal Performance of Fly Ash Based Geopolymers*. Journal of Materials Science. 42. 3033-3043.
- [12]. Hardjito, Djwantoro & Wallah, Steenie & Sumajouw, D.M.J. & Rangan, B.. (2005). *Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Australian Journal of Structural Engineering. 6. 77-86

## MODELAÇÃO NUMÉRICA DE LAJES MISTAS DE AÇO E CONCRETO SUJEITAS AO INCÊNDIO



**Fabricio L. Bolina** \*  
Professor  
Unisinis, Brasil



**João Paulo C. Rodrigues**  
Professor  
Universidade de Coimbra,  
Portugal

### SUMÁRIO

Estruturas mistas de aço e concreto são uma solução frequente em edifícios altos, justamente onde as exigências de projeto ao incêndio são intensificadas. Este artigo propõe a elaboração de um modelo numérico para análise de lajes mistas (*steel deck*) ao incêndio por meio de FEA (*Finite Element Analysis*). Os dados de concepção e validação do modelo foram extraídos da bibliografia e de 17 protótipos investigados experimentalmente em verdadeira grandeza, sendo 9 a temperatura ambiente (ensaio de flexão com 4 pontos) e 8 em altas temperaturas (ensaio de resistência ao fogo em forno horizontal pela ISO 834), dos quais foram extraídos os dados térmicos e mecânicos do modelo. Os modelos numéricos foram processados no Abaqus. Os resultados mostraram que o modelo numérico proposto para a análise de lajes mistas de aço e concreto ao incêndio convergiu com os dados experimentais, validando, por exemplo, os parâmetros de danos do concreto no regime plástico, coeficientes de interface entre a chapa e o concreto, coeficientes de redução da resistência dos materiais em altas temperaturas, parâmetros de difusividade térmica (condutividade, calor específico e densidade), entre outros.

**PALAVRAS-CHAVE:** estruturas mistas, lajes mistas, incêndio, análise numérica.

### 1. INTRODUÇÃO

Nas estruturas metálicas, as lajes mistas diminuem o consumo de aço dos perfis do pavimento, formando vigas mistas. Por promoverem o travamento lateral das vigas, mitigam instabilidades globais e locais das mesmas, reduzindo sua altura, aumentando sua capacidade de carga e incorporando estabilidade global ao edifício. Entretanto, a sua degradação mecânica sofrida em altas temperaturas, como aquelas provenientes do incêndio, pode comprometer o modelo de cálculo e critérios de projeto de vigas e pilares, possibilitando um colapso global e aumentando, às vezes desnecessariamente, custos com proteção passiva.

---

\* Autor correspondente – Unisinis, Departamento de Eng. Civil, Av. Unisinis, 950, 93.022-750 São Leopoldo, Brasil  
email: fabriciolb@unisinis.br

A chapa perfilada destas lajes atua como fôrma incorporada e armadura positiva, dispensando a inserção de armaduras suplementares. Devido sua exposição ao incêndio pela face inferior, a sensibilidade ao calor da chapa sugere rápida falência da laje. Conjectura-se que, nesse caso, ter-se-ia uma laje de concreto não armado, conforme presumido pelos princípios estabelecidos de verificação da EN 1994-1-2 [1]. Há autores que admitem os critérios normativos obsoletos, como Jiang et al (2019) [2], e/ou que os seus respectivos parâmetros termomecânicos não são válidos para casos reais, como cita Achenbach et al. (2017) [3], por terem sido obtidos através de corpos de prova em dimensões reduzidas ou por fenômenos como o desprendimento da chapa, cita Piloto et al. (2020) [4].

Wald et al. (2010) [5] já mostraram que a falta de continuidade da laje reduz a sua resistência ao fogo. As armaduras negativas mitigam o momento solicitante positivo e necessidade de armaduras positivas. Estima-se que as barras negativas são, frente as positivas, termicamente mais protegidas e, portanto, possuem maior efetividade ao incêndio. O fato da chapa funcionar como armadura positiva realça esta discussão e percepção. A continuidade das lajes parece aumentar o seu desempenho nessa ocasião. Entretanto, percebe-se que esse assunto ainda não está sacramentado, dado o reduzido número de trabalhos experimentais dedicados a avalia-las estruturalmente contínuas e submetidas a curvas padronizadas de temperaturas. Dentre os poucos estudos já feitos, cita-se Vassart et al. (2011) [6]. Trata-se de uma lacuna que cria um obstáculo aos modelos numéricos visto que não há resultados experimentais suficientes à calibração paramétrica dos modelos, explica Jankowiak e Lodygowski (2005) [8].

Aliás, poucos estudos se propuseram a analisar numericamente estas lajes mistas ao incêndio. A exemplo das análises sem o efeito das altas temperaturas, a complexidade da proposição de modelos justifica a lacuna, conforme Alfarah et al. (2017) [9]. Há um conjunto de variáveis de difícil predição, sobretudo os danos do concreto no regime plástico, além do escorregamento relativo entre superfícies e interação armaduras-concreto, cita Khalfallah e Guerdouh [10].

Apesar de estudos computacionais oportunizarem análises desta envergadura, os resultados laboratoriais derrubam conjecturas, como percebido nas pesquisas conduzidas em Cardington, como explicam Newman et al. (2006) [11]. O complexo comportamento mecânico do concreto remete a dados experimentais para validar teorias e modelos, segundo explica Stadler (2012) [12]. Porém, a bibliografia parece não mostrar procedimentos numéricos importantes, tais como a resolução dos problemas de interface – chapa perfilada e concreto –, os danos do concreto na fase plástica e as não linearidades envolvidas pela falta de dados experimentais, como cita Alfarah et al. (2017) [9]. Os trabalhos recentes mostram procedimentos simplificados e questionáveis, evidenciando lacunas do tema, conforme Jiang et al. [2].

Este estudo apresentou um modelo numérico para análise de lajes mistas estruturalmente contínuas submetidas ao incêndio pela curva padronizada da ISO 834. Os modelos numéricos foram resolvidos com auxílio do programa de elementos finitos Abaqus. Para calibrá-los, 15 protótipos de lajes mistas foram construídos em escala real e analisados experimentalmente com 18 meses de cura. Destes, 9 foram ensaiados em (I) temperatura ambiente, por meio do ensaio de flexão por quatro pontos; e 8 em (II) altas temperaturas, através de ensaios de resistência ao fogo em forno horizontal segundo a curva ISO 834.

## 2. MODELAÇÃO EXPERIMENTAL E NUMÉRICA DO PROBLEMA

### 2.1 Materiais

#### a) Concreto

O traço usado nos protótipos de lajes experimentais está mostrado na Tabela 1. Para avaliar a redução da resistência do concreto para cada faixa de temperatura, foi realizado um ensaio de compressão axial em corpos de prova pela DIN ISO 6892-2 [13], conforme Tabela 2.

Tabela 1 – Traço adotado no estudo

Material	Traço quantitativo (kg/m <sup>3</sup> )	Traço unitário
Cimento	440	1,00
Brita 9,5 mm	400	0,91
Brita 19 mm	320	0,73
Areia industrializada	320	0,73
Areia natural	960	2,18
Água	200 ± 20	0,45 ± 0,05

Tabela 2 – Coeficiente de redução da resistência do concreto

Material	$f_{c,B}/f_{ck}$	Temperature (°C)									
		20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Concreto	$f_{c,B}/f_{ck}$	1,00	1,00	1,00	0,95	0,85	0,65	0,31	0,28	0,21	0,10

Não foram usados aditivos químicos. O concreto teve uma resistência a compressão média de 39,6 MPa aos 28 dias e 42,4 MPa aos 540 dias.

#### b) Armaduras

Possuíram tensão de escoamento  $f_y=500$  MPa, classificados como classe C pela EN 1992-1-1 [14]. Foram adotadas armaduras com 6,3 e 10 mm de diâmetro (positivas e negativas).

#### c) Chapa perfilada (deck metálico)

Foi empregada uma chapa perfilada com espessura de 0,80mm, altura de 59,0 mm, área de seção transversal 1137,64 mm<sup>2</sup>/m, largura útil de 915 mm, massa de 9,14 kg/m<sup>2</sup> e  $f_y=280$  MPa, vendida no Brasil pela ArcelorMittal (Polydeck 59S). A Figura 1a e b mostram, respectivamente, sua geometria e mossas. A perda de resistência mecânica residual da chapa para cada faixa de temperatura, definido pela ASTM C39 [15], é mostrado na Tabela 3. A análise foi feita até os 700°C em virtude da limitação do equipamento disponível.

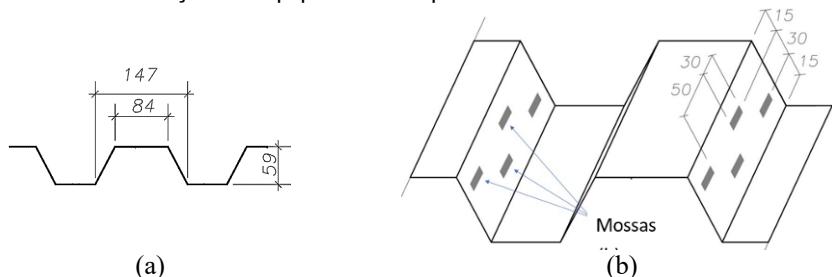


Figura 45 – Seção transversal da chapa e disposição das mossas

Tabela 3 – Coeficiente de redução da resistência da chapa perfilada empregada

Material		Temperature (°C)						
		20	100	200	300	400	500	600
Chapa metálica	$f_{yk\theta}/f_{yk}$	1,00	0,94	0,86	0,71	0,60	0,43	0,32

## 2.2 Ensaios experimentais

Um total de 17 protótipos de lajes foram ensaiados em laboratório para calibração paramétrica dos modelos numéricos. Destes, 9 possuíam dimensões de 960x4600 mm, sendo analisados a temperatura ambiente (LA) pelo ensaio de flexão por quatro pontos. Os demais foram avaliados em altas temperaturas (LF) sob a ISO 834, com dimensões de 3000x4600 mm. A seção transversal das lajes, suas características e critério dos ensaios estão mostrados na Figura 46, Tabela 4,

Figura 47 e Figura 48. A espessura da camada de cobrimento das armaduras foi de 15 mm. Ambas as análises (lajes LA e LF) foram feitas em lajes estruturalmente contínuas, formando 2 vãos de 2,3m. Foram coletadas as seguintes informações dos modelos experimentais para a calibração dos modelos numéricos: deflexões verticais, alongamento (extensão) da chapa na região do apoio intermediário, alongamento (extensão) da chapa no meio do vão da laje, alongamento (extensão) das armaduras positivas e negativas, levantamento nas extremidades da laje e escorregamento relativo entre a chapa e o concreto.

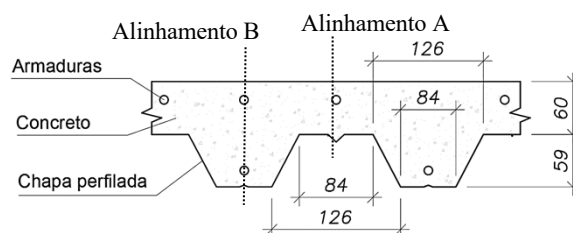
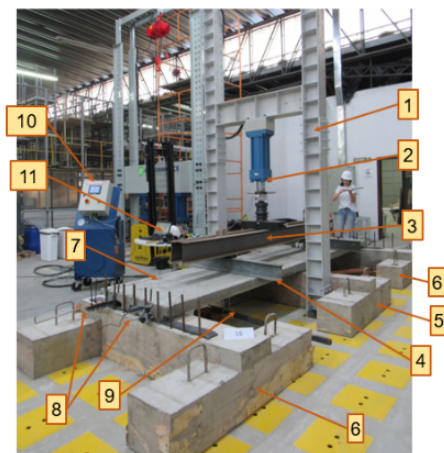
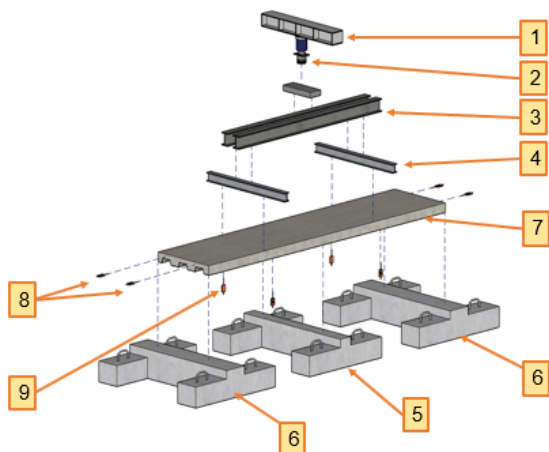


Figura 46 – Características da seção das lajes experimentais (valores em mm)

Tabela 4 – Protótipos investigados experimentalmente

Specimen name		Rebars diameter (mm)		Taxa de armaduras (%)
Temperatura ambiente	Altas temperaturas	Armaduras positivas	Armaduras negativas	
LA1	LF1	-	-	-
LA2=LA3	LF2	Ø6.3	-	0.10
LA4	LF3	Ø10	-	0.26
LA5	LF4	-	Ø6.3	0.13
LA6	LF5	-	Ø10.0	0.35
LA7, 8 e LA9	LF6, 7 e 8	Ø6.3	Ø6.3	0.24

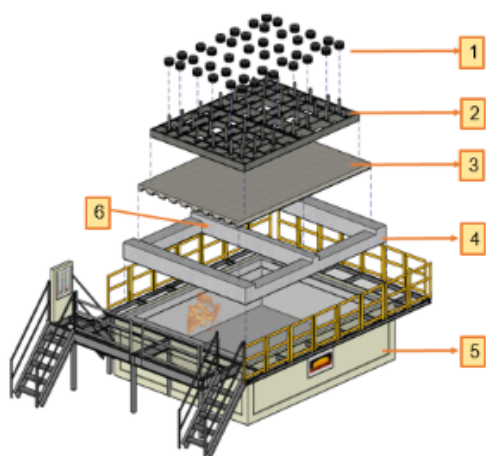


(1) dispositivo carregamento; (2) pistão hidráulico 30 ton; (3) Viga longitudinal de carregamento; (4) viga transversal auxiliar aplicação carregamento; (5) suporte intermediário; (6) suporte de extremidade; (7) protótipo de laje LA; (8) transdutor de deslocamento horizontal (chapa-concreto); (9) transdutor de deslocamento vertical (flecha); (10) dispositivo de controle do pistão  
(11) central de dados

(a)

(b)

Figura 47 – Esquema do ensaio experimental das lajes LA



(1) pistões de carregamento; (2) aparato de sustentação dos pistões; (3) protótipo da laje LF; (4) quadro auxiliar de concreto; (5) forno horizontal; (6) viga intermediária; (7) aparato para medição das deformações verticais

(a)

(b)

Figura 48 – Esquema do ensaio experimental das lajes LF

### 2.3 Simulações numéricas

O elemento finito usado para a chapa de aço foi do tipo S4R5. Para as armaduras foi usado elemento de barras do tipo B31. Já o elemento adotado para o concreto foi o C3D8R. Estes

elementos constam na biblioteca de elementos finitos do Abaqus. O tamanho dos elementos da malha foi de 10 x 10 x 10 mm. Uma análise de malha foi realizada, mostrando-se refinada.

a) Modelo térmico

O modelo foi submetido ao aquecimento da ISO 834 [7] pela face inferior por 180 min. O coeficiente de convecção da face exposta e não exposta foi 25 e 9W/m<sup>2</sup>.K, respectivamente. A temperatura do ambiente foi definida como 25°C, pois era a temperatura média nos dias dos ensaios. A emissividade da chapa foi igual a 0,40, conforme Jiang et al (2019) [2]. Na interface da chapa e concreto foi admitida uma camada de ar de espessura 15 mm, devido ao desprendimento da chapa notado experimentalmente, após cerca de 5 min de ensaio.

Definiu-se o zero absoluto do modelo (-273,15 °C), a Constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma=5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2.\text{K}^4$ ), a temperatura do gás (ISO 834) e inicial da superfície do material ( $\theta_m=25^\circ\text{C}$ ) e de radiação ( $\theta_r=25^\circ\text{C}$ ), fator de configuração ( $\phi=1,0$ ), coeficiente de convecção ( $\alpha=25 \text{ W/m}^2.\text{K}^4$  na face exposta e  $\alpha=9 \text{ W/m}^2.\text{K}^4$  na face não exposta), emissividade da superfície do elemento ( $\epsilon_m=0,40$ ), que no caso é a chapa perfilada, e do fogo ( $\epsilon_f=1,00$ ).

O calor específico do concreto foi definido pelo EN 1992-1-2 [1] com 3% de umidade. Para a condutividade térmica, adotou-se o EN 1992-1-2 [1]. Para o aço das armaduras, o calor específico e condutividade térmica foram extraídos da EN 1993-1-2 [16]. A densidade foi tomada como constante (7850 kg/m<sup>3</sup>), pela EN 1993-1-2 [16] pratica. Para a chapa perfilada, o calor específico e a condutividade térmica foram definidos com base em Craveiro et al. (2016) [17]. A densidade foi tomada como constante (7850 kg/m<sup>3</sup>), como a EN 1993-1-2 [16] pratica.

b) Modelo mecânico: temperatura ambiente

As condições e os resultados dos ensaios LA foram comparados com o modelo numérico da Figura 49, que representou fielmente o modelo experimental (ver Tabela 4).

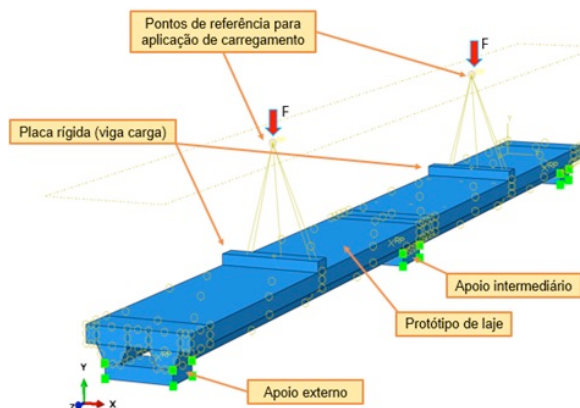


Figura 49 – Modelo de cálculo: análise numérica - parâmetros mecânicos

Neste modelo, dois pontos de referência foram acoplados a placas rígidas. Em cada ponto foi aplicado uma força F. A placa rígida onde a força F foi acoplada corresponde à viga metálica rígida adotada experimentalmente para a distribuição da carga no protótipo.

O modelo foi resolvido segundo o programa Abaqus/Explicit (Explicit dynamic analysis). relação tensão- deformação à compressão e tração do concreto foi definido segundo EN 1992-1-2 [18]. Os demais parâmetros foram:  $E = 5,3 \times 10^8$  MPa;  $f_c = 56$  MPa;  $f_t = 4$  MPa;  $\nu = 0,20$ ;  $\rho_c = 2400$  kg/m<sup>3</sup>. Os danos no concreto em regime plástico admitido estão mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros de dano no concreto no regime elástico

Parâmetro	Símbolo	Valor
Ângulo de dilatação	$\Psi$	30°
Fator de forma	$K_c$	0,667
Excentricidade	$\epsilon$	0,1
Relação tensões biaxial e uniaxial	-	1,16
Parâmetro de viscosidade	-	0,0001
Energia de fratura	GF	90 Nm/m <sup>2</sup>

Nas armaduras, a relação tensão-deformação foi extraída da EN 1993-1-2 [16]. Os demais parâmetros foram:  $E = 2 \times 10^5$  MPa;  $f_y = 500$  MPa;  $\nu = 0,30$ ;  $\rho_c = 7850$  kg/m<sup>3</sup>. Para a chapa, a relação foi definida com base nos resultados de laboratório, oriundo do ensaio de tração axial. Os demais parâmetros foram:  $E = 2 \times 10^5$  MPa;  $f_y = 280$  MPa;  $\nu = 0,30$ ;  $\rho_c = 7850$  kg/m<sup>3</sup>.

### c) Modelo mecânico altas temperaturas

O modelo foi calibrado segundo as condições e os resultados de laboratório das LF e está mostrado na Figura 50.

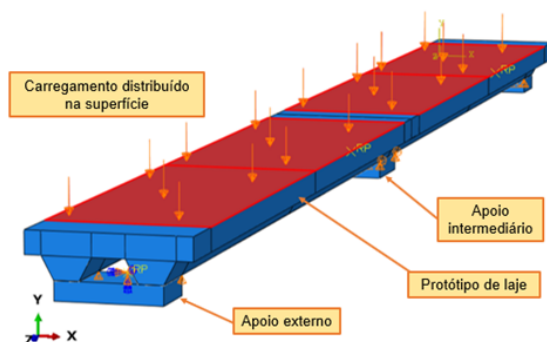


Figura 50 – Modelo de cálculo: análise numérica - parâmetros mecânicos em altas temperaturas e térmicos

A variação da resistência à compressão do concreto em função da temperatura foi extraída da Tabela 2. Já a variação da resistência à tração e módulo de elasticidade da EN 1992-1-2 [18]. A variação da tensão resistente e módulo de elasticidade do aço das armaduras do EN 1993-1-2 [16].

### 3. RESULTADOS

Na sequência é apresentada a validação do modelo numérico proposto.

#### 3.1 Análise térmica

As temperaturas nas camadas do concreto estão na Figura 51 para a seção menos espessa da laje (alinhamento A, ver Fig. 2); e na Figura 52, para a mais espessa (alinhamento B, ver Fig. 2). A convergência das leituras credita os parâmetros térmicos dos materiais adotados. O alinhamento A tende a ter um aquecimento maior do que o B. Esse fato mostrou que, sob altas temperaturas, a laje pode mostrar uma distribuição complexa de parâmetros mecânicos na seção.

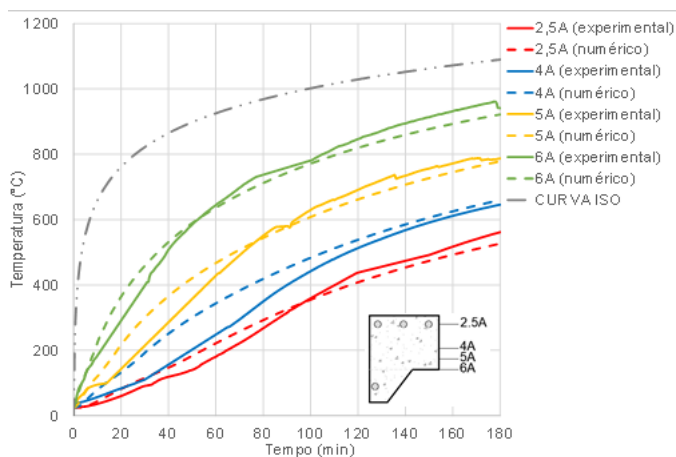


Figura 51 – Comparativo entre as temperaturas na seção transversal da laje (seção A) medidas através do modelo experimental e do modelo numérico

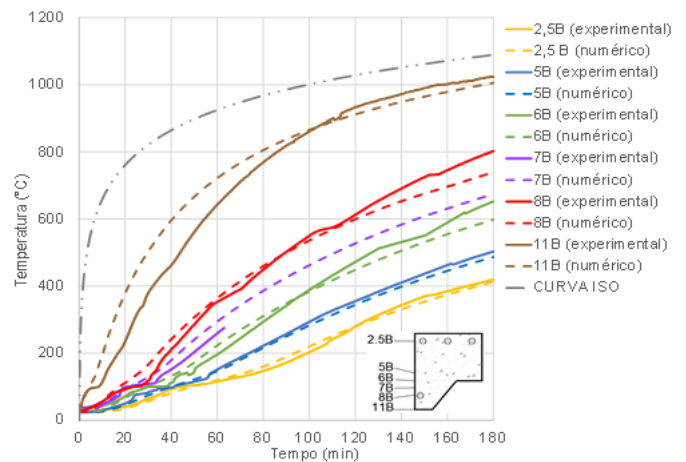


Figura 52 – Comparativo entre as temperaturas na seção transversal da laje (seção B) medidas através do modelo experimental e do modelo numérico

#### 3.2 Análise mecânica a temperatura ambiente

##### a) Deflexões verticais

Na Figura 53 mostram-se as deformações verticais das LA. Apenas a LA1, 2, 4, 5-6, 7 e 9 foram mostradas, sendo estas representativas das demais.

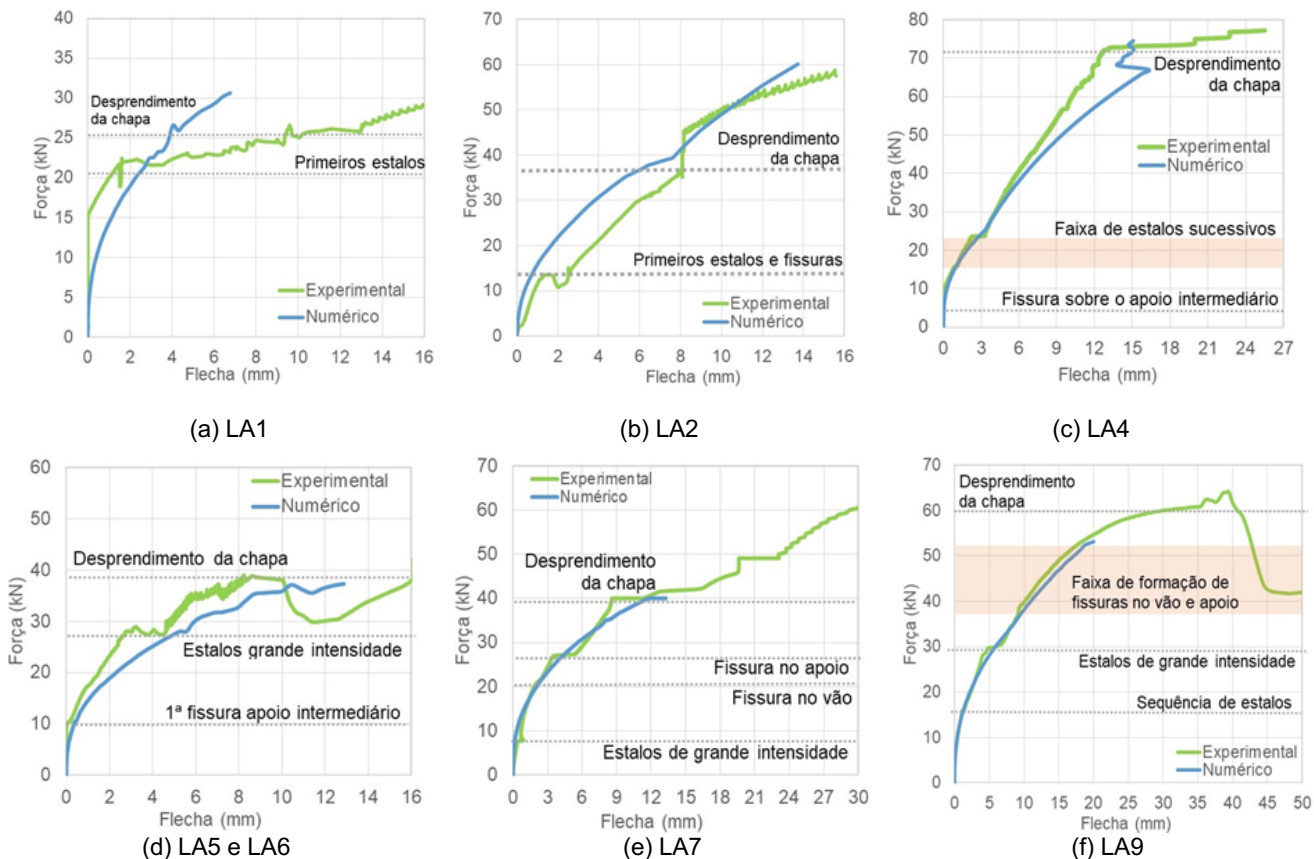


Figura 53 – Comparativo entre as deformações verticais (flechas) medidas experimental e numericamente

O início do escorregamento da chapa na LA1 (Figura 53a) foi para cerca de 24 kN nas simulações numéricas e ensaios experimentais. Na LA2, isto é notado por um pico nas leituras por volta dos 8mm de deformação no experimental, o que no numérico ocorreu aos 7,5mm, ambos por volta dos 40 kN (Figura 53b). A diferença entre as leituras foi no máximo de 15%. Na LA4 (Figura 53c), apesar de nos instantes finais terem diferenças da ordem de 12 % entre leituras, no princípio elas são pífias.

Na Figura 53d foi mostrado o comparativo para a LA5 e LA6. O início do escorregamento da chapa ocorreu por volta de 28 kN, mostrado no resultado experimental pelo patamar de deformação no intervalo de 4 mm. Já nas simulações numéricas, pela perturbação das leituras registradas no mesmo instante. A Figura 53e mostra a LA7. A representatividade dos resultados numéricos é evidente. Na Figura 53f foi feito o comparativo da LA9. A força e deformação que provocou o ELU foram semelhantes.

b) Alongamento da chapa no apoio intermediário

Na Figura 54a é mostrada a LA1. O escorregamento da chapa foi marcado por perturbações nas leituras do modelo numérico, que mostrou um pico no instante que ela se desprendeu da seção, aos 25 kN, convergindo com o resultado experimental. A Figura 54b mostra os resultados da LA2. Os resultados da LA4 estão na Figura 54c. O desprendimento da chapa na simulação numérica convergiu com o resultado experimental, dando-se por volta de 70 kN.

As leituras da LA5 e 6 estão na Figura 54d e mostraram convergência. As perturbações nas leituras do modelo numérico convergem com as manifestações de laboratório, como estalos de grande intensidade indicativos de início de fissuração do concreto e/ou o desprendimento da chapa. A Figura 54e mostra as leituras da LA7. Na mesa superior, a convergência é notória e credita o modelo numérico. O desprendimento da chapa ocorre no mesmo instante em ambos. Já na Figura 54f foi mostrado os resultados da LA9. Os resultados parecem convergir. Inclusive as leituras mostram perturbações nos instantes em que experimentalmente fissuras ocorreram.

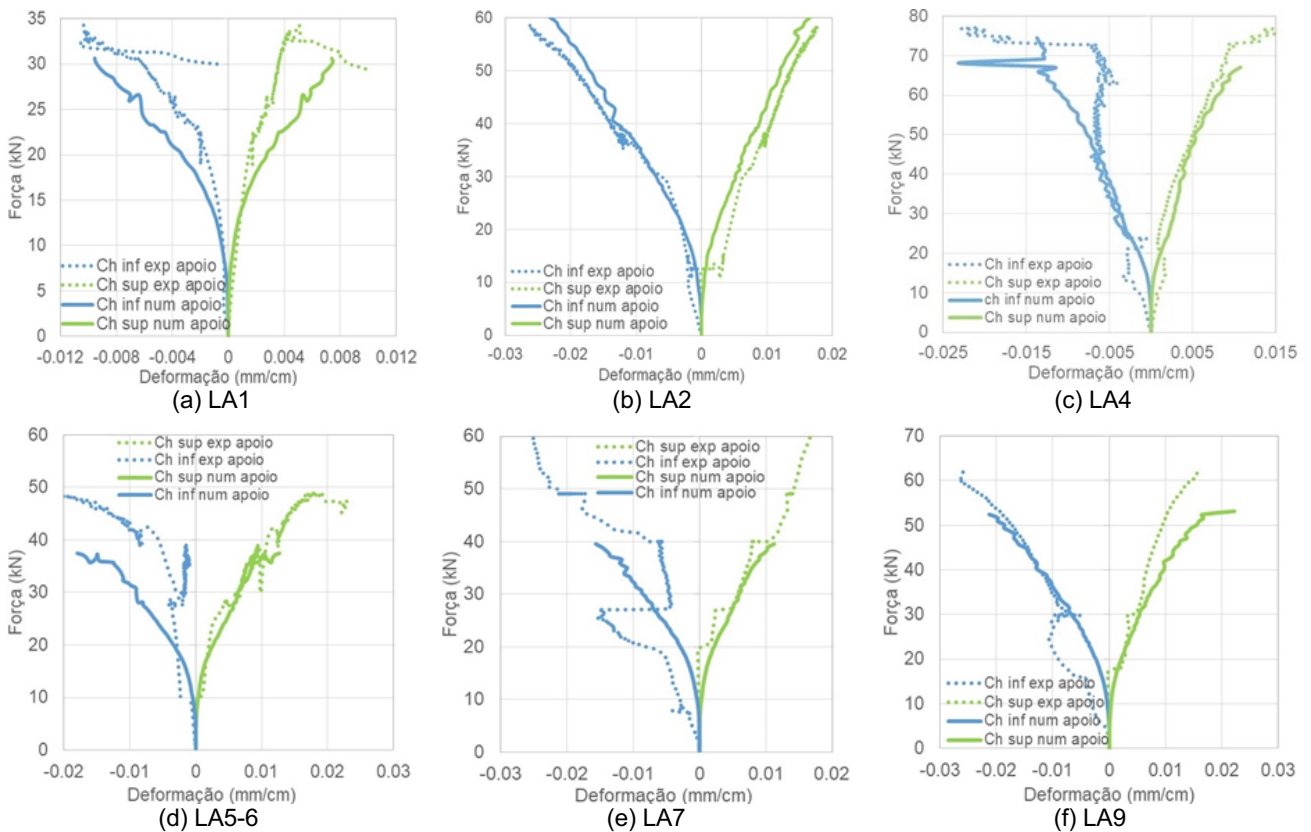


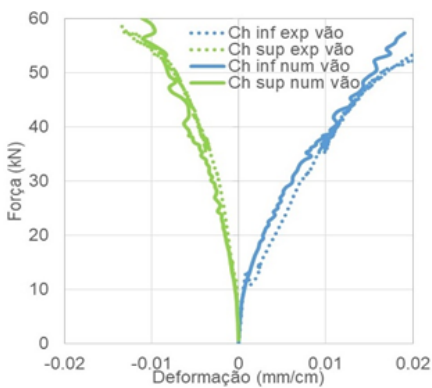
Figura 54 – Comparativo entre a deformação longitudinal na mesa superior e inferior da chapa perfilada na região do apoio intermediário medidos experimental e numericamente

c) Alongamento da chapa no meio do vão

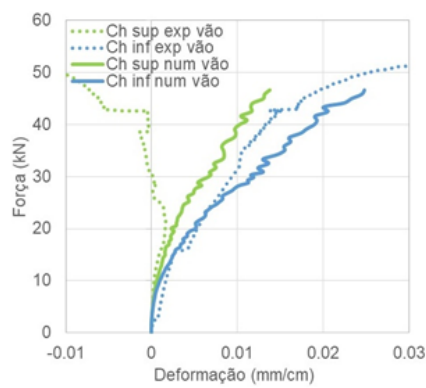
A Figura 55 mostram as medições feitas. Mostram-se a LA2, 3, 4, 5-6, 8 e 9, pois representam as demais. Na Figura 55a mostra-se a LA2. As perturbações nas leituras do modelo numérico convergiram com as de laboratório, como os estalos e fissuras no concreto, induzidas pelo escorregamento da chapa. As variações das leituras se referem ao contato chapa-concreto e seu cisalhamento longitudinal limite. A LA3 está na Figura 55b. Como na LA2, as perturbações das simulações numéricas acompanharam as manifestações dos ensaios experimentais. Há um aumento delas aos 40 kN, instante em que houve o desprendimento da chapa no ensaio experimental.

Na Figura 55c está a LA4. Nos modelos experimental e numérico, o estado limite último foi atingido por volta dos 70 kN. Já na Figura 55d está a LA5 e 6. O instante em que ocorreram estalos e fissuras no concreto no ensaio experimental, por volta de 30 kN, também mostrou perturbações no modelo numérico, marcando o início do escorregamento relativo entre ambos.

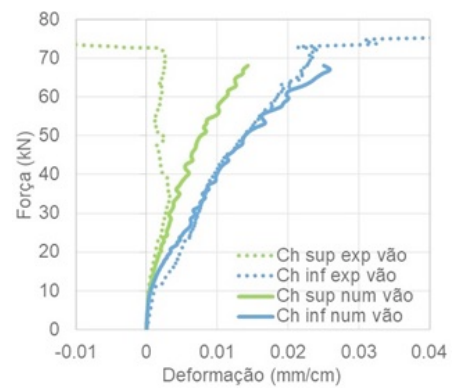
Na Figura 55e, as perturbações das leituras registradas do modelo numérico da LA8 indicaram escorregamento relativo entre a chapa e o concreto, aumentando à medida que os materiais escorregavam entre si. O desprendimento total da chapa da LA8 ocorreu pouco antes de 50 kN. Trata-se do mesmo instante onde o modelo numérico acusou uma falha de interação entre materiais. Na LA9 (Figura 55f) houve as mesmas perturbações pelo desprendimento da chapa.



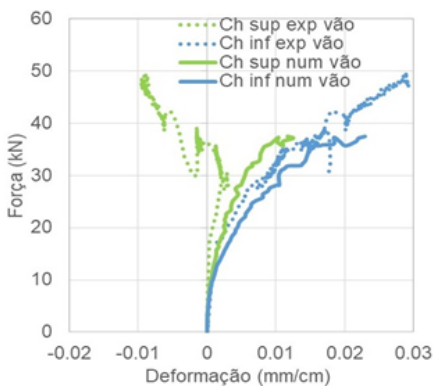
(a) LA2



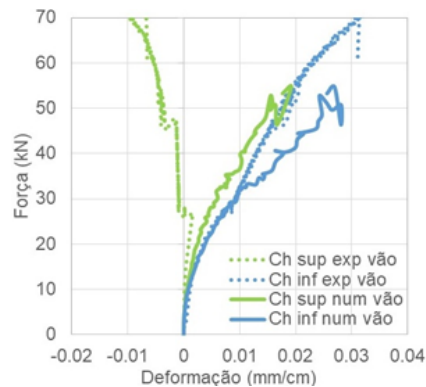
(b) LA3



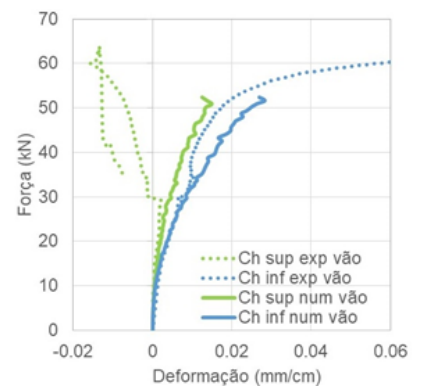
(c) LA4



(d) LA5-6



(e) LA8



(f) LA9

Figura 55 – Comparativo entre a deformação longitudinal na mesa superior e inferior da chapa perfilada na região do vão central medida experimental e numericamente

d) Alongamento armaduras positivas e negativas

O comparativo das leituras nas armaduras é mostrado na Figura 56, sendo coletadas na região do apoio intermediário. Foram mostradas apenas a LA2, 5-6 e 7, pois representam as demais.

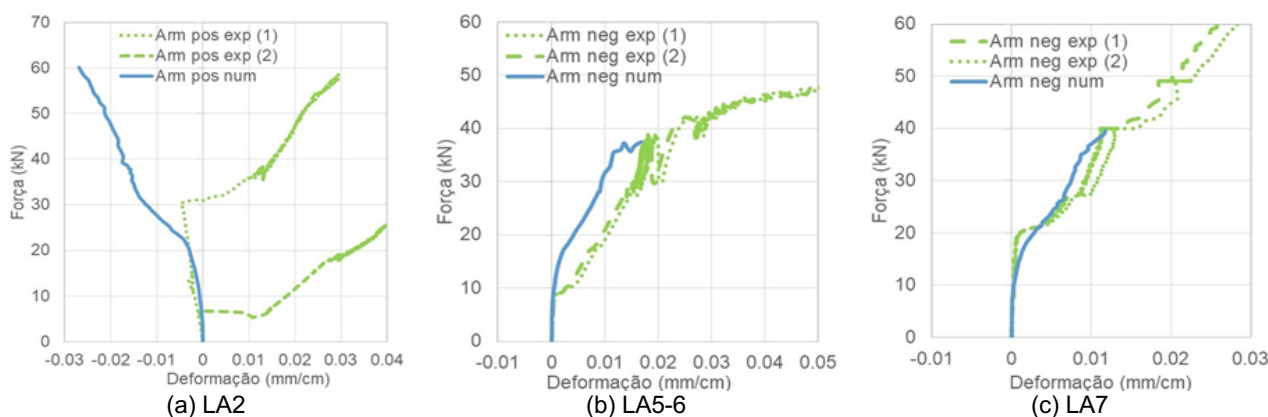


Figura 56 – Comparativo entre a deformação longitudinal das armaduras medidos experimental e numericamente

A leitura da LA2 está na Figura 56a. As barras positivas iniciaram comprimidas. As fissuras inverteram a natureza dos esforços. Uma sensível variação das leituras no modelo numérico foram percebidas por volta de 20 kN, onde no modelo experimental teve-se o início do escorregamento da chapa. Em laboratório, o desprendimento da chapa ocorreu aos 70 kN, convergindo ao modelo numérico. A Figura 56b mostra a LA5 e 6. No modelo numérico, as perturbações registradas próximo a 30 kN convergiram com a força aplicada no modelo experimental que teve o início do escorregamento da chapa. Entende-se que há convergência nos modelos. Já o comparativo da LA7 foi feito na Figura 56c. O fato de se tratar de barras de maior diâmetro permitiram menores variações de leitura após as fissuras. Isso mostra que a sensível diferença entre as leituras apresentadas anteriormente provém das fissuras no concreto. O desprendimento total da chapa obtida pelos resultados numéricos ocorreu próximo aos 40 kN.

### 3.3 Análise mecânica em altas temperaturas

#### a) Deflexões verticais

Na Figura 57 estão os comparativos das deformações da LF1, LF5 e LF8. Elas representam as demais lajes avaliadas. No caso do modelo experimental, mostram-se os resultados de cada um dos vãos da laje. No modelo numérico, apenas um dos vãos.

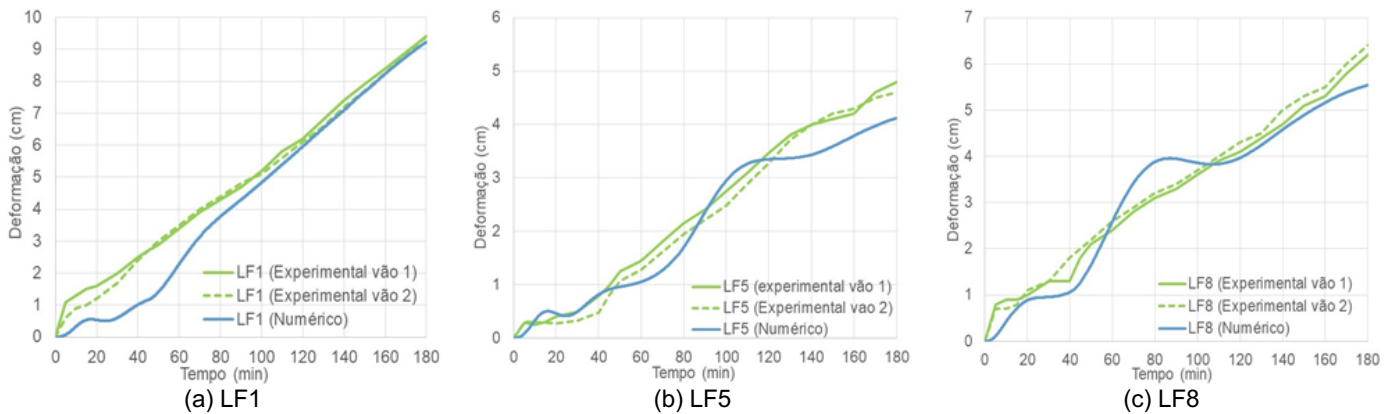


Figura 57 – Comparativo entre as deformações verticais medidas experimental e numericamente

Na Figura 57a mostra-se a LF1. Até aproximadamente 100 min, as leituras mostram sutil divergência, mas com tendência de uniformizar na metade final. A diferença máxima entre leituras, na pior condição, foi de 12 mm. O comparativo da LF5 foi mostrado na Figura 57b. A variação máxima entre as leituras foi da ordem de 0,20 cm. Após os 130 min, a diferença aumentou para 0,40 cm. Na LF8, que representou os modelos da LF6 e 7, o comparativo foi mostrado na Figura 57c. As leituras mostraram variações menores do que 10 mm, ocorrendo, ademais, por um período curto, na casa dos 70 a 100 min.

b) Deformação das extremidades

Nesta seção mostram-se apenas a LF1, LF3 e LF5, pois são representativas das demais. Na Figura 58a foi mostrado o comparativo da LF1. Nota-se que o modelo numérico converge ao experimental. A diferença máxima entre ambas é de 3,0 mm, considerado pouco em relação as dimensões da laje. O mesmo pode ser dito para a LF3, na Figura 58b. Nessa, porém, a diferença aumenta frente à anterior, sendo da ordem de 4,2 mm no ponto mais crítico, por volta dos 40 min. No caso da laje LF5, a magnitude das diferenças entre as leituras foi menor. Na pior condição, foi da ordem de 4,0 mm, conforme Figura 58c.

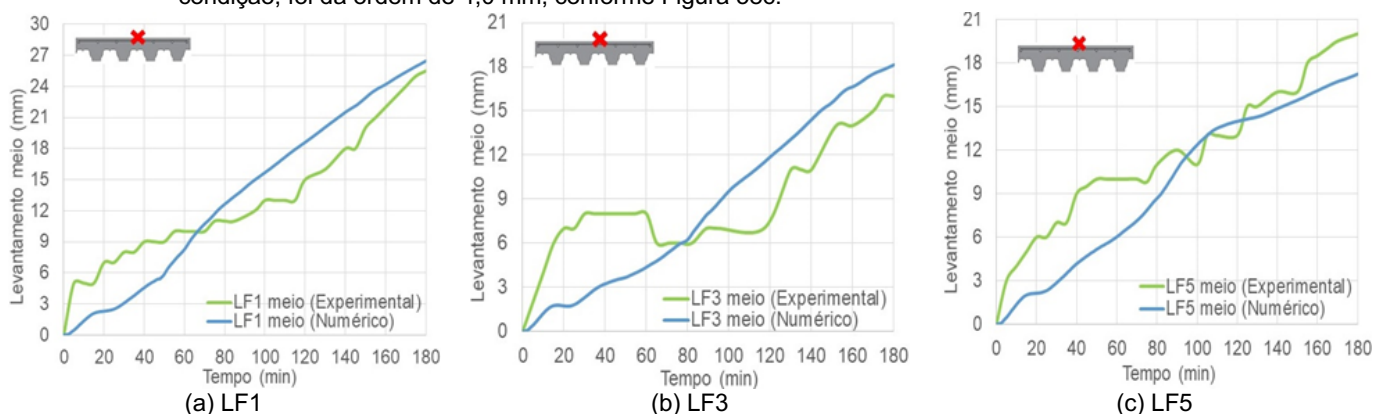


Figura 58 – Comparativo entre a deformação da mediatriz das lajes medidas experimental e numericamente

### c) Escorregamento relativo chapa-concreto

Na Figura 59a é mostrada a calibração quanto ao escorregamento relativo do modelo numérico da LF1. Tem-se uma diferença da ordem de 0,25mm no pico máximo das leituras, percebido aos 40 min. Possivelmente o instante esteja vinculado ao desprendimento total da chapa. Esse foi o mesmo instante registrado na LF 3 (Figura 59b), mostrando diferenças sutis entre as curvas. A Figura 59c mostra a calibração da LF7, onde também se notou o desprendimento da chapa por volta de 40 min, com diferença entre o modelo numérico e experimental não maior do que 0,40 mm na condição mais crítica.

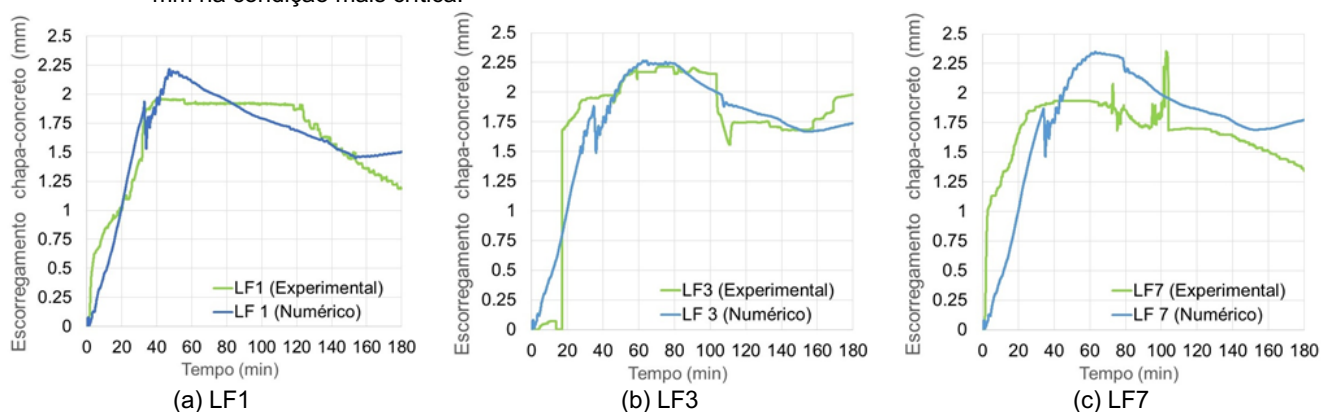


Figura 59 – Comparativo entre o escorregamento relativo entre a chapa-concreto das lajes medidas medidas experimental e numericamente

## 4. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como propósito conceber um modelo de cálculo de lajes mistas estruturalmente contínuas, tomando como base um conjunto de resultados experimentais extraídos de protótipos em verdadeira grandeza, bem como de recomendações normativas e de contribuições já obtidas e fornecidas por outros estudos. Evidenciou-se que há uma lacuna de resultados e dados experimentais que possibilitem a calibração de modelos numéricos. O modelo numérico proposto no estudo mostrou uma convergência interessante frente aos dados de laboratório obtidos. Entende-se que este estudo e resultados ora apresentados poderão servir de contribuição a outros estudos numéricos sobre lajes mistas ao incêndio.

## REFERÊNCIAS

- [1] EN 1994-1-2 (2011). Design of composite steel and concrete structures. Part 1.2 - Design rules, structural fire design. European Committee for Standardization, Bruxelas.
- [2] Jiang J, Pintar A, Weigand JM, Main JA, Sadek F (2019). Improved calculation method for insulation-based fire resistance of composite slabs. *Fire Safety Journal*, v. 105, pp. 144-153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.02.013>
- [3] Achenbach M, Lahmer T, Morgenthal G (2017). Identification of the thermal properties of concrete for the temperature calculation of concrete slabs and columns subjected to a standard fire — Methodology and proposal for simplified formulations. *Fire Safety Journal*, v. 87, pp. 80–86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2016.12.003>

- [4] Piloto PAG, Balsa C, Santos LMC, Kimura EA (2020). Effect of the load level on the resistance of composite slabs with steel decking under fire conditions. *Journal of Fire Sciences*, vol. 38, Issue 2, pp: 212-232, 2020. (<https://doi.org/10.1177/0734904119892210>).
- [5] Wald F, Kallerová P, Chlouba P, Sokol Z, Strejcek M, Pospisil J, Stroner M, Kremen T, Smitka V (2010) Fire Test on an Administrative Building in Mokrsko: Summary of the Results from the Fire Experiment. Czech Technical University in Prague, p. 152.
- [6] Vassart O, Zhao B: (2011) FRACOF Engineering Background. Report developed for the Leonardo Da Vinci Program: Fire Resistance Assessment of Partially Protected Composite Floors (FRACOF). European Commission, Education and Culture DG, Bordeaux, France.
- [7] ISO 834-8 (1999) Fire resistance tests -- Elements of building construction. International Organization for Standardization (ISO), Genève, Switzerland.
- [8] Jankowiak T, Lodygowski T (2013) Identification of parameters of concrete damage plasticity constitutive model. *Foundations of Civil and Environmental Engineering*.
- [9] Alfarah B, López-Almansa F, Oller S. (2017). New methodology for calculating damage variables evolution in Plastic Damage Model for RC structures. *Engineering Structures*, v. 132, p. 70–86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.11.022>
- [10] Khalfallah S, Guerdouh D (2014). Tension stiffening approach in concrete of tensioned members. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, v. 6, n. 1. DOI: 10.1007/s40091-014-0051-8.
- [11] Newman GM, Robinson JT, Bailey CG. *Fire Safe Design A new approach to multi-storey steel framed buildings* Fire and Steel Construction. SCI Publication, 2006.
- [12] Stadler, M. Design of composite slab system in case of fire using simplified finite element analyses. [s.l.] Technische Universität München, 2012.
- [13] DIN EN ISO 6892-2. Tensile testing Part 2: Tensile testing Method of test at elevated temperature. Deutsches Institut für Normung, Berlin, 2018.
- [14] EN 1994-1-1 (2011)- Design of composite steel and concrete structures. Part 1.1 - General rules and rules for buildings. Bruxelles.
- [15] ASTM C39 (2020) Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken.
- [16] EN 1993-1-2 (2010) Design of steel structures. Part 1.2 - Design rules, structural fire design. European Committee for Standardization, Bruxelles.
- [17] Craveiro HD, Rodrigues JPC, Santiago A, Laim L (2016). Review of the high temperature mechanical and thermal properties of the steels used in cold formed steel structures - The case of the S280GD+Z steel. *Thin-Walled Structures*, n. 98, pp. 154–168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2015.06.002>
- [18] EN 1992-1-2 (2010). Design of concrete structures. Part 1.2 - Design rules, structural fire design. European Committee for Standardization, Brussels.

## BENDING RESISTANCE OF COMPOSITE SLABS UNDER FIRE

**Paulo A. G. Piloto**<sup>†††††</sup>  
Professor  
IPB – Bragança  
Portugal

**Carlos Balsa**  
Professor  
IPB – Bragança  
Portugal

**Matheus B. Silveira**  
Student  
UTFPR – P. Branco  
Brasil

**Gustavo L. Dias**  
Professor  
UTFPR – P. Branco  
Brasil

### ABSTRACT

This work investigates the bending resistance in composite slabs under positive bending moments (sagging), comparing the behaviour of Normal Weight Concrete (NWC) and Light Weight Concrete (LWC) when submitted to standard fire ISO834. This analysis is required for structures in fire and is mainly affected by two factors: the thermal and mechanical properties of the materials. The results of the simplified method are compared with the numerical results obtained for two-dimensional thermal analysis, with regards to the temperature effect from each component in to the bending resistance.

**KEY-WORDS:** Composite slabs; Fire; Normal weight concrete; Light weight concrete.

### 1. INTRODUCTION

Composite steel and concrete slabs can be considered as a combination between a reinforced concrete layer placed over a profiled steel deck. Steel rebars may be included between the ribs, which may present different shapes. The application provides high fire performance in bending resistance to large loads and large spans, and can be considered as a good solution for special structures, such as, hospitals, parking lots, high rise buildings, etc.

The Eurocode 1994-1.2 [1] presents a simplified calculation model to determine the fire bending resistance, being responsible to provide fire safety for common fire rating times. However, since the last review was made, more than fifteen years ago, the methodology seems to neglect some important effects during the fire exposure, such as the debonding effect and the concrete thickness above the steel deck [2,3,4]. In order to optimize the calculation model presented by EN 1994-1.2, a parametric study was performed to analyse the effect of the normal weight concrete and lightweight concrete thermal properties, depending on the temporal temperature evolution in four types of composite slabs, subdivided into two geometric classes, trapezoidal and re-entrant. Confraplus 60 and Polydeck 59s are selected with concrete thicknesses of 50,70,90,110,125 mm, while Multideck 50 and Bondek are selected with 60,70,90,110,125 mm.

---

<sup>†††††</sup> Paulo A. G. Piloto – Instituto Politécnico de Bragança, INEGI / LAETA, Campus de Santa Apolónia, 5300-253, Bragança, Portugal

email: ppiloto@ipb.pt      http://www.ipb.pt

The parametric analysis is based on the finite element method, already validated by Paulo *et al.* [2,3,4], that considers the debonding effect through the modelling of the air layer (air) between the steel deck and the concrete slab. This model is used to solve the non-linear transient analysis of the composite slabs. Based on the average temperature of each component (lower flange, web, upper flange and rebar). The reduction of the load bearing capacity is also analysed, for specific fire ratings. The numerical models are simulated using the MATLAB, with non-linear material properties [1,5].

## 2. MATERIALS AND METHODS

The design that aims the fire safety is based on the analysis of two data sets: the thermal properties to perform the thermal analysis and the mechanical properties to perform the structural analysis. The thermal analysis depends on the temperature dependence of thermal conductivity ( $\lambda$ ), specific heat ( $C_p$ ), and density ( $\rho$ ), solving Eq. 1 and applying the boundary conditions on the exposed side Eq. 2 and on the unexposed side Eq. 3. The solution is incremental and iterative. The mechanical analysis depends on the reduction factors, determined based on the average temperature for each component (lower flange, web, upper flange and rebars) [6].

$$\rho_{(T)} C_{p(T)} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla (\lambda_{(T)} \nabla T) \quad (1)$$

$$\lambda_{(T)} \nabla T \cdot \vec{n} = \alpha_c (T_\infty - T) + \phi \varepsilon_m \varepsilon_f \sigma (T_\infty^4 - T^4) \quad (2)$$

$$\lambda_{(T)} \nabla T \cdot \vec{n} = \alpha_c (T_\infty - T) \quad (3)$$

### 2.1 Thermal Properties

Due to the temperature dependence of the thermal properties involved in the composite slabs, the non-linearity of heat transfer is an intrinsic and important characteristic. The Eurocodes 1992-1.2 [7], 1994-1.2 [1] and, 1993-1.2 [8] were adopted to determine the thermal properties of normal weight concrete, lightweight concrete and steel, respectively. Figure 1 presents the temperature dependence of steel thermal properties. For the specific heat, an important metallographic transformation takes place between 600 and 800 °C. At this range, there is a considerable energy demand to promote the steel phase transition of the ferric phase into austenite phase.

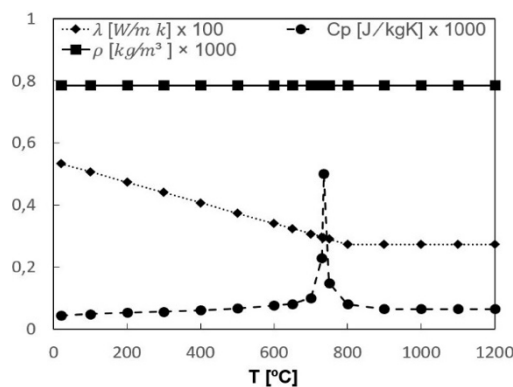


Figure 1: Steel Thermal Properties.

The behavior of density ( $\rho$ ), thermal conductivity ( $\lambda$ ), and specific heat ( $C_p$ ) properties for the NWC and LWC are depicted in Figure 2 and Figure 3. In the case of NWC, the peak in the specific heat graph is due to the amount of energy required for free water evaporation. This event occurs from 100°C and demands a constant amount of energy until 115°C, and then decreases linearly up to 200°C.

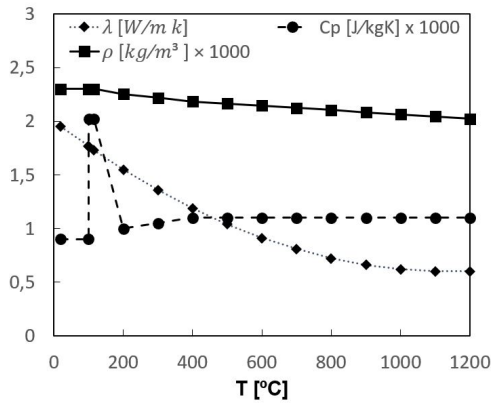


Figure 2: Normal Weight Concrete Thermal Properties.

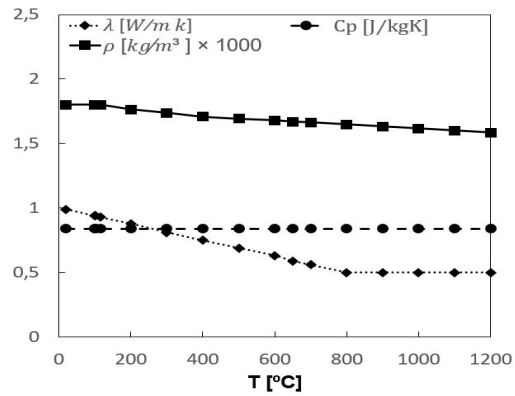


Figure 3: Lightweight Concrete Thermal Properties.

## 2.2 Mechanical Properties

The steel and concrete mechanical properties become variable according to the increase of temperature, especially at elevated temperatures. For this reason, the influence of temperature variation on the steel and concrete stress-strain relationship is presented in Eurocode 1993-1.2 [8] and Eurocode 1992-1.2 [7] respectively. The reduction coefficients for the steel deck yield stress is determined by  $k_{p0.2,\theta}$  while the reduction coefficient for the reinforcement bars is determined by  $k_{y,\theta}$ . The reduction coefficient for the concrete,  $k_{c,\theta}$ , is determined from Eurocode 1992-1.2. This coefficient is presented in Table 1.

## 2.3 Composite slab components and geometries

This section describes the materials and the geometries employed in the production of each slab model, as well as their respective geometries. The heat flow transmission across the slabs is depends on the View Factor,  $\phi$ , which changes according to slab geometry and the position of each component (lower flange, web, upper flange). These values are presented in Table 2.

Temperature [°C]	$k_{p0.2,\theta}$	$k_{y,\theta}$	$k_{c,\theta}$
20	1.000	1.000	1.000
100	1.000	1.000	1.000
200	0.890	1.000	0.950
300	0.780	1.000	0.850
400	0.650	0.940	0.750
500	0.530	0.670	0.600
600	0.300	0.400	0.450
700	0.130	0.120	0.300
800	0.070	0.110	0.150
900	0.050	0.080	0.080
1000	0.030	0.050	0.040
1100	0.020	0.030	0.010
1200	0.000	0.000	0.000

Table 1: Reduction Coefficients.

Slab Geometry	Deck Component	View Factor ( $\phi$ )
Confraplus 60	Upper flange	0.73
	Web	0.56
	Lower flange	1.00
Polydeck 59S	Upper flange	0.75
	Web	0.64
	Lower flange	1.00
Multideck 50	Upper flange	0.14
	Web	0.09
	Lower flange	1.00
Bondek	Upper flange	0.12
	Web	0.09
	Lower flange	1.00

Table 2: View Factors.

Confraplus 60 is a trapezoidal model profile produced by ArcelorMittal. The sheet deck is produced with S350 steel and has 1.25 mm of thickness.

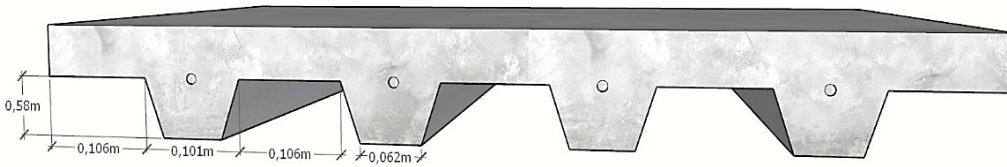


Figure 4: Confraplus 60 geometric characteristics.

The Polydeck 59S model is the second trapezoidal profile selected. ArcelorMittal is the company responsible for producing the composite slab with a steel deck with S450 steel and 1 mm of thickness.

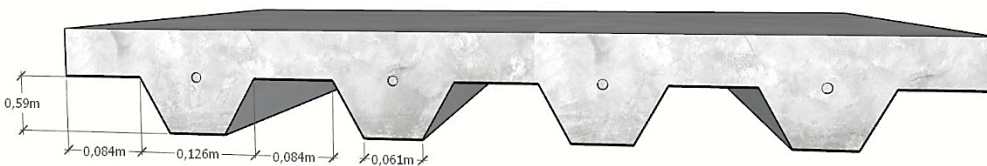


Figure 5: Polydeck 59S geometric characteristics.

The first re-entrant model presented is the Multideck 50 produced by Kingspan Structural Products. This product has a steel profile in steel S450 and 1 mm of thickness.

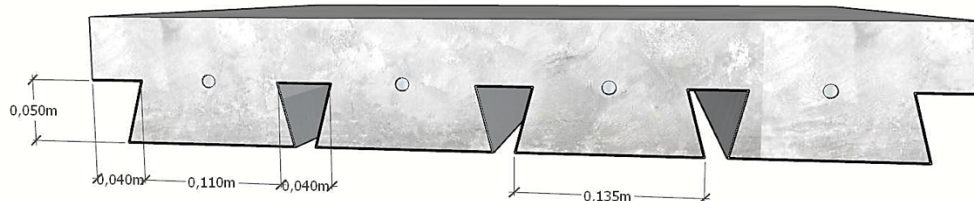


Figure 6: Multideck 50 geometric characteristics.

The other re-entrant model adopted is Bondek, developed and produced by the Lysaght company. The deck consists of a metallic profile in steel S350 with 1 mm of thickness.

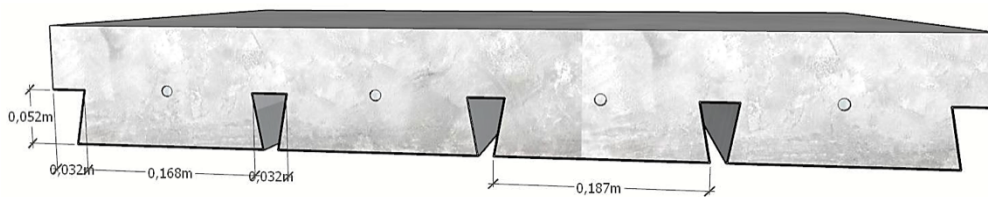


Figure 7: Bondek geometric characteristics.

### 3. CALCULATION METHODS

The calculation method runs with the analysis of two different models. The thermal model provides the temperature distribution along the structural element cross-section over time, while mechanical simplified model enables the evaluation of the element structural performance during the heating phase, in particular for each fire rating time. The mechanical model considers the temperature effect on each component. The thermal model considers an incremental and iterative solution method.

### 3.1 Thermal Analysis

The composite slabs are submitted to the fire conditions from below (exposed surface), using radiation and convection, and to the effect of natural convection from above (unexposed surface). According to EN 1991-1-2 [9], the initial temperature is assumed to be 20°C and a convection coefficient  $\alpha_c = 9$  [W/m<sup>2</sup>K] is applied at the unexposed surface, using a bulk temperature of 20°C, which includes the radiation effect. The exposed surface considers the convection coefficient  $\alpha_c = 25$  [W/m<sup>2</sup>] and the flame emissivity  $\varepsilon_f = 1$ , both considering the bulk temperature following the standard fire ISO 834 [10]. The emissivity of both materials is considered to be 0.7.

To solve the nonlinear transient thermal analysis, the software MATLAB (MATrix LABoratory) has been used, as it is a simple-to-use software with worldwide dissemination. Several routines have been developed to solve this analysis. A special face has been created to simulate the debonding effect during fire (air layer).

The finite element mesh uses triangular shape elements with three nodes and one degree of freedom, using linear interpolations with a complete Gauss integration scheme. To optimize the model concerning the accuracy of results and processing time, a convergence test has been developed to determine the size of the elements, using the criterion for temperature based on a tolerance value of  $10^{-4}$ .

### 3.2 Mechanical Analysis

In order to optimize the coefficients and the formulation presented in Annex D of EN 1994-1.2 [1], the average temperatures in each steel deck component and also in the rebars were determined. These values were compared with the numerical results. The calculation method is based on the fire rating required for each composite slab. The design rules are being applied only on simply supported slabs, exposed to standard fire ISO834 [10].

Therefore, after determining the temperatures in each steel component, the position of the neutral plastic needs to be determined, following Eq. 4.

$$\sum_{i=1}^n A_i k_{y,\theta,i} \left( \frac{f_{y,i}}{\gamma_{M,fi,a}} \right) + \alpha_{slab} \sum_{j=1}^m A_j k_{c,\theta,j} \left( \frac{f_{c,j}}{\gamma_{M,fi,c}} \right) = 0 \quad (4)$$

$$M_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i z_i k_{y,\theta,i} \left( \frac{f_{y,i}}{\gamma_{M,fi,a}} \right) + \alpha_{slab} \sum_{j=1}^m A_j z_j k_{c,\theta,j} \left( \frac{f_{c,j}}{\gamma_{M,fi,c}} \right) \quad (5)$$

Where  $f_{y,i}$  is the yield stress associated with the steel element with area  $A_i$ . This value should be considered positive if it is in the compressed region, and negative otherwise,  $f_{c,j}$  is the concrete's resistance at 20°C for the area  $A_j$  present above the neutral axis,  $\alpha_{slab}$  is the reduction coefficient regarding the consideration of a concrete rectangular stress block, with a value of 0.85. The reduction coefficients  $k_{y,\theta,i}$  are presented in Table 1.  $\gamma_{M,fi,a}$  and  $\gamma_{M,fi,c}$  are partial safety factors, used for both materials.

The design sagging moment resistance  $M_{fi,t,Rd}$  (positive) may be determined using Eq. 5, Where  $z_i$  and  $z_j$  represent the distance from the neutral axis to the respective gravity centers of the areas  $A_i$  and  $A_j$ .

## 4. RESULTS

Figure 8 and Figure 9 highlights the debonding effect (air) on the average temperature of each component. Numerical results (N) are compared with the simplified results (S). Results demonstrate the need for new coefficients to determine the temperature of each component affecting the bending resistance. Figure 8 presents the thermal behaviour of the trapezoidal Polydeck 59s slab with 50 mm NWC thickness, and Figure 9 presents the thermal behaviour of the re-entrant Multideck 50 slab with 60 mm LWC thickness.

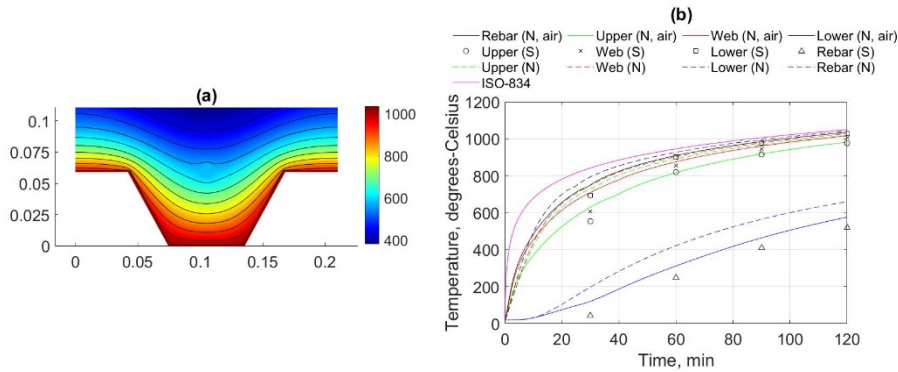


Figure 8: (a) Polydeck 59s Cross-section at 120 min, (b) Temperature evolution for each component obtained by simplified (S) and numerical (N) methods, considering the “air-gap” (air).

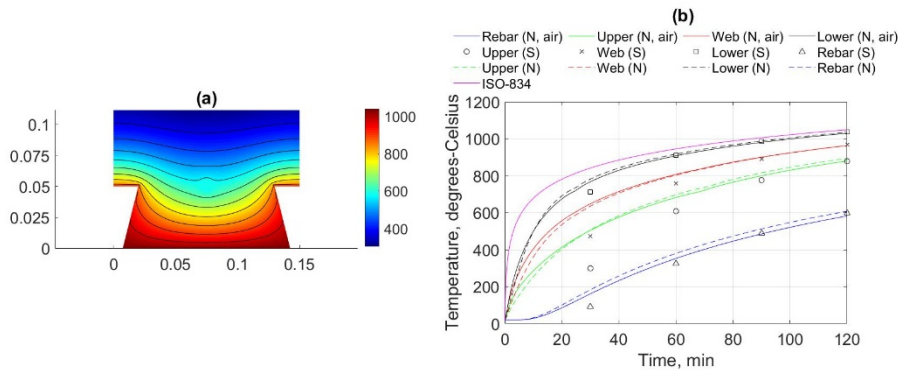


Figure 9: (a) Multideck 50 Cross-section at 120 min, (b) Temperature evolution for each component obtained by simplified (S) and numerical (N) methods, considering the “air-gap” (air).

The temperature data presented above was evaluated for different slab geometries and thicknesses, introduced in section 2.3. With these results, new coefficients and new calculation formulas were developed to present the temperature estimation for each steel deck component ( $\theta_a$ ) and rebars ( $\theta_s$ ), for the specific time defined by fire rating. Table 3 presents the  $b_i$  coefficients, and Table 4 the  $c_i$  coefficients.

Concrete	Fire Resist. [min]	Part of the steel sheet	b0	b1	b2	b3	b4	b5 (Re-entrant)	b5 (Trapezoidal)
NWC	60min	Upper flange	784.199	-1203.728	-2.348	86.101	-151.088	0.827	1.174
		Web	755.223	-829.652	-2.906	558.943	-346.533	1.040	0.979
		Lower flange	566.697	-2695.557	-2.234	1564.899	-639.673	1.420	0.709
	90min	Upper flange	857.473	-841.761	-1.561	64.953	-108.279	0.860	1.140
		Web	867.775	-957.472	-2.199	471.327	-338.061	1.010	0.995
		Lower flange	832.185	-2674.885	-1.739	842.270	-459529	1.187	0.873
	120min	Upper flange	919.406	-680.486	-1.135	46.638	-82.886	0.886	1.114
		Web	954.715	-948.415	-1.817	346.186	-266.592	0.995	1.006
		Lower flange	949.386	-2414.930	-1.646	619.924	-373.440	1.116	0.913
LWC	30min	Upper flange	707.052	-1333.093	-2.679	114.271	-181.238	0.846	1.155
		Web	617.936	-285.157	-2.183	489.380	-233.828	1.072	0.952
		Lower flange	602.463	-2041.618	-1.401	673.167	-124.325	1.297	0.815
	60min	Upper flange	824.177	-623.389	-1.327	47.611	-81.232	0.882	1.118
		Web	807.934	-557.537	-1.664	433.574	-300.574	1.016	0.988
		Lower flange	785.929	-2206.045	-1.007	724.299	-397.923	1.159	0.879
	90min	Upper flange	906.500	-478.614	-0.913	32.668	-60.857	0.911	1.089
		Web	926.942	-653.858	-1.359	289.299	-229.586	0.995	1.005
		Lower flange	925.111	-1831.257	-0.984	485.781	-308.685	1.084	0.930
	120min	Upper flange	964.213	-399.340	-0.651	19.790	-43.724	0.929	1.071
		Web	997.217	-628.997	-1.070	186.448	-152.413	0.990	1.010
		Lower flange	1010.532	-1554.441	-0.917	309.836	-195.989	1.052	0.954

Table 3: New  $b_i$  coefficients proposition.

Concrete	Fire Resist. [min]	c0	c1	c2	c3	c4	c5	c6 (Re-entrant)	c6 (Trapezoidal)
NWC	60min	1222.465	-248.614	-236.672	-4.994	1.042	-924.710	0.924	1.085
	90min	1340.456	-256.056	-235.114	-5.301	1.390	-1267.220	0.914	1.085
	120min	1366.326	-238.609	-228.442	-4.797	1.677	-1326.630	0.911	1.085
LWC	30min	869.303	-133.293	-228.595	-0.699	0.481	-314.874	0.941	1.088
	60min	1389.993	-240.148	-284.908	-6.077	1.635	-899.743	0.924	1.088
	90min	1408.635	-239.078	-265.938	-5.447	2.244	-917.988	0.911	1.090
	120min	1410.768	-229.550	-251.558	-4.436	2.471	-906.106	0.916	1.083

Table 4: New  $c_i$  coefficients proposition.

The Eq. 6 and Eq. 7, comprises the new proposal to calculate the steel components temperature.

$$\theta_a = \left( b_0 + b_1 \frac{1}{l_3} + b_2 \frac{A}{L_r} + b_3 \phi + b_4 \phi^2 \right) \cdot b_5 \quad (6)$$

$$\theta_s = \left( c_0 + c_1 \frac{u_3}{h_2} + c_2 z + c_3 \frac{A}{L_r} + c_4 \alpha + c_5 \frac{1}{l_3} \right) \cdot c_6 \quad (7)$$

Where  $\theta_a$  is the temperature of the lower flange, web or upper flange,  $\theta_s$  is the temperature of reinforcement,  $l_3$  is the width of the upper flange,  $\phi$  is the view factor of the upper flange,  $A$  is concrete volume of the rib per meter of rib length,  $L_r$  is exposed area of the rib per meter of rib length,  $u_3$  is the distance between the gravity centre of the rib and the lower flange,  $z$  is the rebar position in the rib, and  $\alpha$  is the web angle.

To verify the differences between the Eurocode 1994-1.2 [1] temperature calculation method (EC), the numeric results (E) and the new calculation proposal (NP), two comparison graphs were developed. Figure 10 and Figure 11 establish this comparison for each steel deck component (Upper flange, Web, Lower flange) and the rebars for both concrete types.

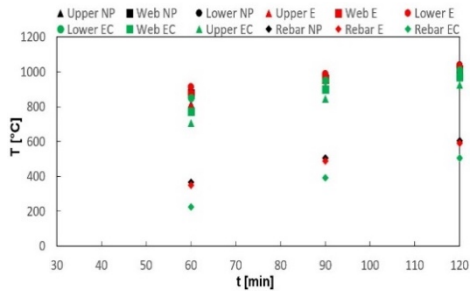


Figure 10: Temperature for Confraplus 60 slab with NWC.

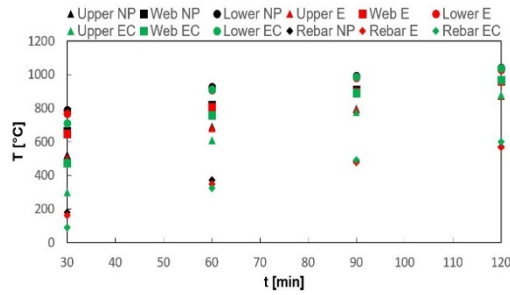


Figure 11: Temperature for Multideck 50 slab with LWC.

After determining the required temperatures, it was possible to calculate the new bending resistance reduction factor ( $M_{f,t,Rd} / M_{Rd}$ ) for the sagging moment trough the new calculation proposal and compare with the results provided following the EN 1994-1.2 [1] rules. Thus, Figure 12 present the comparison between the bending resistance reduction factor for all thickness of Confraplus 60 slab with NWC, and Figure 13 present the comparison between the bending resistance reduction factor for all thickness of Multideck 50 slab with LWC.

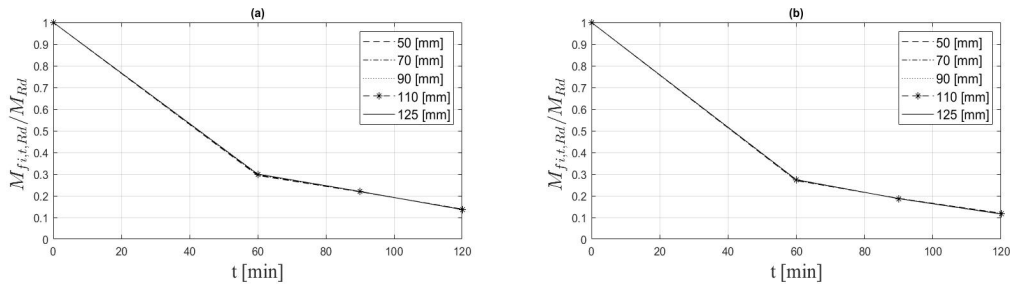


Figure 12: Bending resistance reduction factor for NWC: (a) EN 1994-1.2, (b) new proposal.

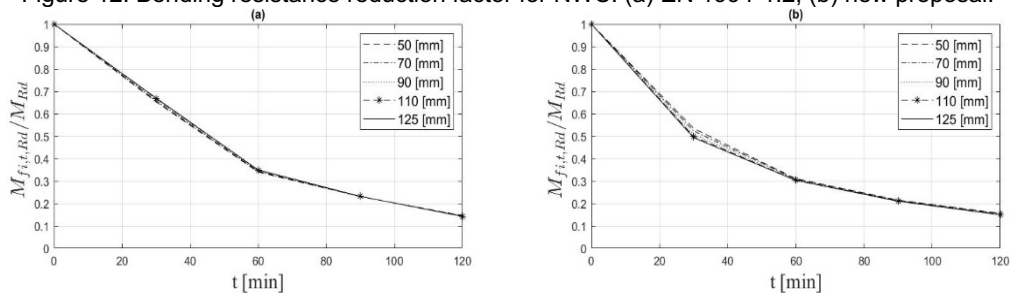


Figure 13: Bending resistance reduction factor for LWC: (a) EN 1994-1.2, (b) new proposal.

## 5. CONCLUSIONS

This paper presents the 2D numerical solution using MATLAB software to determine the average temperature of each slab component. With these results, new coefficients and calculation formula were presented to determine the temperature at the steel deck components (Upper flange, Web e Lower flange) and the rebars aiming to minimize the difference between the simplified method and the numerical method. Finally, a comparative study of the bending resistance reduction factor for the sagging moment was presented, highlighting the improvement in the accuracy of the results from 3% to 18%, depending on the type of geometry, the type of concrete and the fire rating time. this effect is observed mainly in slabs with reentrant geometry and also for LWC.

## REFERENCES

- [1] CEN, EN 1994-1-2: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-2: General rules - Structural fire design. Brussels, 2005.
- [2] Paulo A. G. Piloto, Carlos Balsa, Fernando Ribeiro, Ronaldo Rigobello, "Computational Simulation of the Thermal Effects on Composite Slabs under Fire Conditions", *Math. Comput. Sci.*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11786-020-00466-0>.
- [3] Paulo A.G. Piloto, Carlos Balsa, Lucas M.C. Santos, and Érica F.A. Kimura (2020). Effect of the load level on the resistance of composite slabs with steel decking under fire conditions. *Journal of Fire Sciences*, vol. 38, Issue 2, pp: 212-232, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734904119892210>.
- [4] Paulo A. G. Piloto, Carlos Balsa, Fernando F. Ribeiro, Ronaldo Rigobello. Three-Dimensional Numerical Analysis on the Fire Behaviour of Composite Slabs with Steel Deck, Chapter 2, pp: 12-30, 2020, *Advances in Fire Safety Engineering*, Springer, Lecture Notes in Civil Engineering, DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-36240-9>.
- [5] M. Malik, S. K. Bhattacharyya, and S. V. Barai, "Thermal and mechanical properties of concrete and its constituents at elevated temperatures: A review," *Construction and Building Materials*, vol. 270, p. 121398, 2020, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121398.
- [6] Li, G. & Wang, P. Properties of Steel at Elevated Temperatures. *Advanced Topics in Science and Technology in China 2013*, 37–65. ISSN: 19956827 (2013).
- [7] CEN, EN 1992-1-2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. Brussels, 2004.
- [8] CEN, EN 1993-1-2: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. Brussels, 2005.
- [9] CEN, EN 1991-1-2: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire. Brussels, 2002.
- [10] International Organization for Standardization, "ISO 834-1: Fire Resistance Tests - Elements of Building Construction - Part 1: General Requirements." International Organization for Standardization, Switzerland, p. 25, 1999.

## COMPORTAMENTO AO FOGO DE LIGAÇÕES AÇO-MADEIRA-AÇO

**Vânia S.B. da Silva**  
Mestre Eng Mecânica  
MEM, ISEP, IPP –  
Porto, Portugal

**Elza M.M.  
Fonseca**§§§§§§  
Professor  
DEM, ISEP, IPP –  
Porto, Portugal

**Hernâni M. Lopes**  
Professor  
DEM, ISEP, IPP –  
Porto, Portugal

**Armando V. Campos**  
Professor  
DEM, ISEP, IPP –  
Porto, Portugal

### SUMÁRIO

As ligações são os pontos mais frágeis numa estrutura e, por esse motivo, o seu correto dimensionamento é fundamental para que seja garantida a sua resistência. As ligações em estudo são do tipo madeira-aço-madeira em duplo corte com cavilhas metálicas. Foram estudadas diferentes ligações com diâmetros de cavilhas de 6, 8, 10 e 12mm, aço S275, madeira do tipo GL20h, GL24h, GL28h e GL32h, submetidas a esforços de tração 10, 15 e 20kN. Com base no projeto do dimensionamento das ligações à temperatura ambiente, foi realizado um estudo numérico através do método dos elementos finitos, para a análise térmica em regime transiente das ligações submetidas à ação do fogo, utilizando a curva ISO 834. A partir dos resultados obtidos, no projeto à temperatura ambiente, conclui-se que quanto menor o diâmetro da cavilha e maior o carregamento, maior o número de cavilhas necessárias para assegurar a resistência da ligação. Quando as ligações estão submetidas ao fogo, quanto maior o diâmetro das cavilhas e maior a massa volúmica da madeira, maior a resistência ao fogo da ligação. Os resultados obtidos permitiram ainda observar o gradiente de temperatura na ligação e a respetiva camada carbonizada. As velocidades de carbonização obtidas foram, na sua maioria, inferiores às estabelecidas pelo Eurocódigo 5 parte 1-2. As ligações sem proteção apresentam fraca resistência ao fogo, no entanto quando protegidas, resistem pelo menos 30min.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ligações; fogo; madeira; Eurocódigos; método dos elementos finitos.

### 1. INTRODUÇÃO

As ligações mecânicas entre os diversos elementos estruturais desempenham um papel importante e relevante numa estrutura. Por esse motivo, têm surgido diferentes trabalhos de investigação para o estudo e a análise deste tipo de elementos.

Em 2007, C. Austruy et al. utilizaram as equações de Johansen para prever a resistência ao fogo de ligações de madeira aparafusadas. As temperaturas obtidas com base numa análise experimental e numérica foram comparadas. Os valores numéricos apresentaram algumas discrepâncias relativamente às medições experimentais, o que justificou a necessidade de se realizar, sempre que possível, ensaios experimentais [1].

Em 2010, Andrea Frangi et al, realizaram ensaios experimentais de ligações em aço e madeira sob a ação do fogo. Numa primeira fase, verificaram a resistência das ligações dimensionadas à temperatura ambiente, concluindo que as ligações com chapas de aço no seu interior resistiam ao fogo cerca de 30min e com proteção de madeira ou gesso, a resistência ao fogo aumentava para 60min. Relativamente ao dimensionamento para elevadas temperaturas, as ligações com chapas externas em aço resistiram ao fogo 12min e com a proteção da chapa externa com tinta intumescente 30min [2].

---

§§§§§§ Autor correspondente — LAETA, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Instituto Politécnico do Porto. Rua Dr. Bernardino de Almeida, n° 431, 4200-072 Porto. PORTUGAL. e-mail: elz@isep.ipp.pt

Em 2011, Lei Peng et al. analisaram alguns modelos de cálculo, baseados em dados relativos à resistência ao fogo de ligações em duplo corte. Foram criadas correlações que permitiram verificar a resistência ao fogo de ligações não protegidas utilizando parafusos ou cavilhas. Concluíram que a escolha de cavilhas em detrimento do uso de parafusos traduz numa maior resistência ao fogo [3].

Em 2019, Pedro Leite et al, realizaram um estudo numérico para verificar a resistência ao fogo de ligações unicamente em madeira (W-W-W) protegidas por diferentes tipos de gesso A, H ou F. Ambos os gessos resistiram a 60min de exposição ao fogo, no entanto, o gesso do tipo A tinha uma espessura maior do que o gesso do tipo F. Concluíram que o gesso demonstrou ser um bom isolante e capaz de reduzir a camada carbonizada [4].

Em 2019, Lino Silva et al, estudaram o efeito da massa volúmica da madeira em ligações com chapa interna em aço (W-S-W) e proteção passiva contra o fogo. Verificaram que a propagação do calor e a evolução da carbonização na madeira é maior na ligação com menor massa volúmica. Concluíram que a proteção da ligação com um material isolante, como o gesso, é necessária para garantir a maior resistência ao fogo [5].

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a resistência ao fogo de ligações aço-madeira-aço (S-W-S) em corte duplo com cavilhas metálicas. Este tipo de ligação é frequente, contudo os estudos numéricos, prevendo a resistência ao fogo, são ainda escassos e necessitam de ser mais investigados.

No presente trabalho, inicialmente são estudadas as ligações projetadas à temperatura ambiente, de acordo com o Eurocódigo 5 parte 1-1 [6], para diferentes valores de carga de tração aplicada paralelamente às fibras da madeira. Posteriormente, é determinada a resistência ao fogo das mesmas ligações sem e com proteção. A proteção das ligações será efetuada com madeira lamelada colada ou gesso do tipo F. Através de um estudo numérico, baseado no método dos elementos finitos, é possível calcular a resistência ao fogo das ligações, como uma metodologia de cálculo alternativa. Com os resultados obtidos é possível prever a variação do nível de temperaturas, a velocidade de carbonização e calcular a camada de madeira carbonizada, produzida de forma indireta pela condução de calor através dos componentes em aço.

## 2. MATERIAIS E PROPRIEDADES

As ligações em estudo são constituídas por aço-madeira-aço e cavilhas em aço. A madeira é um material higroscópico, em que o teor de água presente varia com a humidade relativa e a temperatura do ar. A massa volúmica da madeira está relacionada com a maioria das propriedades mecânicas, variando de espécie para espécie e com a temperatura. Segundo o Eurocódigo 5 parte 1-2 [7], a taxa da massa volúmica em função da temperatura da madeira, com 12% de teor de água ( $\omega$ ), encontra-se tabelada conforme se apresenta na Tabela 1. Numa primeira fase, a madeira é afetada pela presença da humidade, daí o incremento do teor de água de 12% até aproximadamente aos 100°C, ponto de ebulição da água. Entretanto, estabiliza no valor de referência e volta a sofrer alterações quando se aproxima dos 300°C [7], temperatura à qual, a madeira começa a carbonizar.

Neste trabalho, são analisados quatro tipos diferentes de madeira lamelada colada homogénea: GL20h, GL24h, GL28h e GL32h com uma massa volúmica de 370, 420, 460 e 480kgm<sup>-3</sup>, respetivamente. Considerando as características dos diferentes tipos de madeira à temperatura ambiente, cuja resistência à tração e massa volúmica são apresentadas na Tabela 2, foram calculadas as respetivas massas volúmicas em função da temperatura e de acordo com o Eurocódigo 5 parte 1-2 [7], cujo resultado se apresenta na Figura 1

Tabela 1: Taxa massa volúmica, [7]

Temperatura, °C	Massa volúmica, kg.m <sup>-3</sup>
20	1+ $\omega$
99	1+ $\omega$
120	1
200	1
250	0,93
300	0,76
350	0,52
400	0,38
600	0,28
800	0,26
1200	0

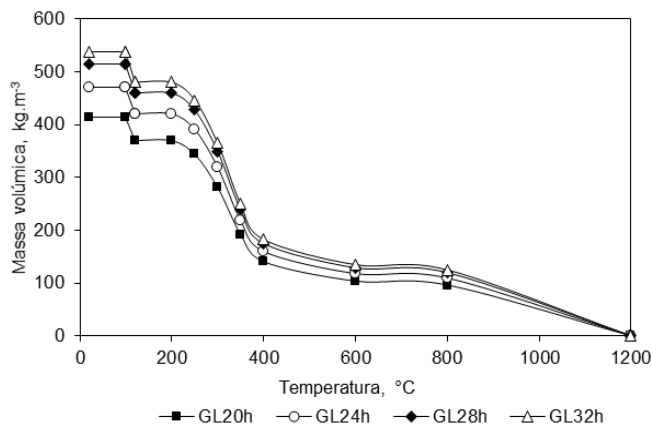


Figura 1: Massa volúmica dos tipos de madeira

Tabela 2: Características da madeira à temperatura ambiente

Designação	Simbologia	GL20h	GL24h	GL28h	GL32h
Resistência à tração paralela à fibra, MPa	$f_{t,0,k}$	16	19,2	22,3	25,6
Massa volúmica, $\text{kgm}^{-3}$	$\rho_k$	340	385	425	440

As propriedades mecânicas do aço necessárias ao estudo, para uma espessura nominal de elementos inferior a 40mm, encontram-se apresentadas na Tabela 3, definidas conforme o Eurocódigo 3 parte 1-1 [8]. O aço é um material cuja massa volúmica não se altera com o aumento da temperatura, com um valor constante de  $7850\text{kgm}^{-3}$ . A condutividade térmica e o calor específico dos materiais em estudo sofrem uma variação quando expostos a elevadas temperaturas. O Eurocódigo 5 parte 1-2 [7] e o Eurocódigo 3 parte 1-2 [9] descrevem as propriedades térmicas para a madeira e para o aço, respetivamente, conforme a Figura 2.

Tabela 3: Propriedades mecânicas do aço S275, [8]

Designação	Simbologia	S275
Tensão de cedência, MPa	$f_y$	275
Tensão de rutura, MPa	$f_{u,k}$	430
Massa volúmica, $\text{kgm}^{-3}$	$\rho$	7850

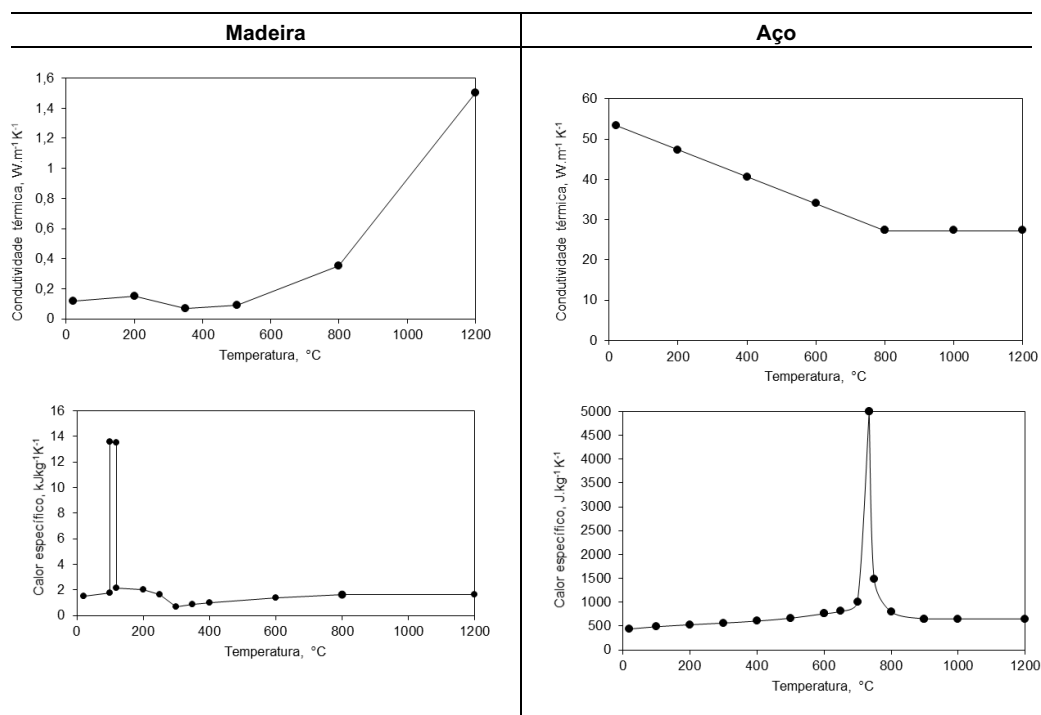


Figura 2: Propriedades térmicas da madeira [7] e do aço [9]

### 3. DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES E RESULTADOS

O dimensionamento das ligações aço-madeira-aço em duplo corte com cavilhas metálicas à temperatura ambiente foi baseado nas equações simplificadas presentes no Eurocódigo 5 parte 1-1 [6]. Após o dimensionamento das diferentes ligações, a análise ao fogo foi efetuada utilizando o programa de elementos finitos Ansys®. A Figura 3 representa as características geométricas do modelo da ligação e os parâmetros necessários ao seu dimensionamento.

A resistência à tração ao longo das fibras  $f_{t,0,d}$  deve ser superior ou igual que a tensão de tração ao longo das fibras  $f_{t,0,k}$ . Para reduzir o valor da resistência à tração característica ao longo das fibras, é necessário considerar diferentes fatores de segurança, como o fator de redução para a duração de carregamento, o teor de humidade  $k_{mod}$ , bem como o fator parcial para as propriedades do material  $\gamma_M$ , equação **Error! Reference source not found.**

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \times f_{t,0,k}}{\gamma_M} \quad (1)$$

Segundo o Eurocódigo 5 parte 1-1 [6], o valor de  $\gamma_M$  para a madeira lamelada colada é de 1,25. Relativamente ao fator  $k_{mod}$ , é necessário ter em conta a duração de utilização e a classe de serviço a que se destina a estrutura. No caso de estudo, considerou-se uma duração de utilização média e a classe de serviço 1, tomando  $k_{mod}$  o valor 0,8, Eurocódigo 5 parte 1-1 [6].

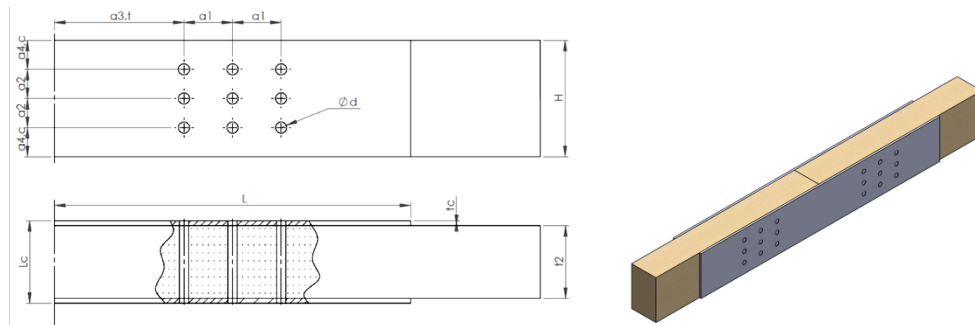


Figura 3: Modelo da ligação aço-madeira-aço com cavilhas metálicas

O pré-dimensionamento da ligação, para o cálculo da altura da ligação  $H$ , é efetuado em função da secção transversal  $A_s = H \times t_2$ , utilizando a equação 1 e igualando à tensão de tração do projeto  $\sigma_{t,0,d}$ , função da carga aplicada  $F_d$ . Para todos os casos, considerou-se  $t_2=45\text{mm}$ .

A capacidade de carga característica por plano de corte e por ligador  $F_{v,Rk}$  é determinada tomando o menor valor de duas equações 2 e 3, sendo estas utilizadas na situação em que os membros exteriores da ligação são de aço. Nesta análise, foi utilizado sempre o mesmo modelo de chapa de aço externa com uma espessura  $t_c=3\text{mm}$ . A equação 3 tem em conta a resistência característica ao esmagamento dos membros de madeira  $f_{h,2,k}$ , a espessura do elemento central de madeira  $t_2$  e o diâmetro do ligador  $d$ .

$$F_{v,Rk} = \text{menor} \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \quad (2) \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (3) \end{array} \right.$$

A partir da resistência do material  $f_{u,k}$  e do diâmetro da cavilha  $d$  é possível obter-se o momento de cedência plástica do ligador  $M_{y,Rk}$ , sendo este definido pela equação 4. Esta equação tem em consideração, para além das variáveis já referidas, o momento de cedência plástica do ligador  $M_{y,Rk}$  e a resistência à tração axial característica do ligador  $F_{ax,Rk}$ .

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad (4)$$

A resistência característica ao esmagamento em elementos de madeira  $f_{h,2,k}$  é calculada através do diâmetro da cavilha  $d$  e da massa volúmica característica da madeira  $\rho_k$ , equação 5.

$$f_{h,2,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k \quad (5)$$

O número de cavilhas  $N$  necessárias para assegurar a ligação é obtida em função da carga aplicada  $F_d$  e da força de corte de projeto, por plano de corte e por ligador  $F_{v,Rd}$ . O número de cavilhas foi assumido como o valor absoluto arredondado por excesso. Fixou-se a distribuição das cavilhas por três colunas, variando o número de linhas conforme o número total de cavilhas e a altura da ligação  $H$ . A ligação em estudo fica padronizada, sendo possível obter um plano de corte a incidir nas três cavilhas para o estudo térmico, ao longo da espessura  $t_2$ . O espaçamento entre os ligadores ( $a_1, a_2, a_{3,t}, a_{4,c}$ ), Figura 3, respeita a disposição do Eurocódigo 5 parte 1-1 [6].

A Figura 4 representa os resultados obtidos no dimensionamento das diferentes ligações atendendo às diferentes variáveis de carga aplicada, tipo de madeira e diâmetro da cavilha.

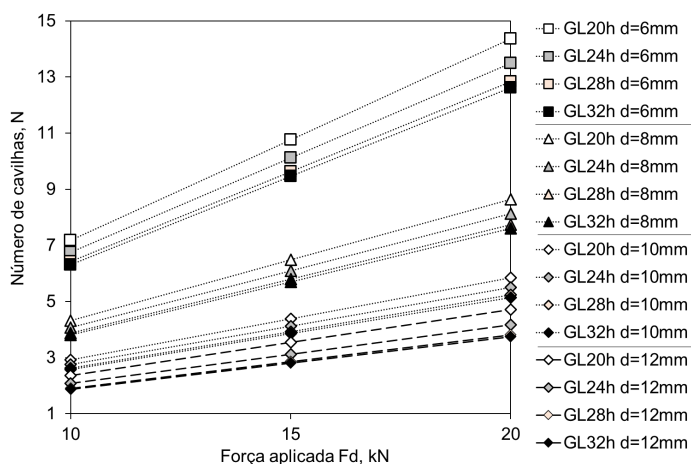


Figura 4: Número de cavilhas necessárias para o dimensionamento de uma ligação

O número de cavilhas aumenta com a carga aplicada na ligação. Nas ligações em que se utilizem madeiras com maior massa volúmica, o número de cavilhas necessárias é menor. Esta tendência é mais notória quando o diâmetro da cavilha é menor. A utilização de cavilhas com maior diâmetro resulta na utilização de um menor número de ligadores ao correto dimensionamento.

## 5. LIGAÇÕES A ELEVADAS TEMPERATURAS E RESULTADOS

A carbonização da madeira é um fenómeno causado pela presença de altas temperaturas. O carvão é obtido pela pirólise da madeira, que é gerado pela degradação térmica na ausência de um agente oxidante. Quando exposta ao calor e ao atingir valores de temperatura próximos de 300°C, a madeira entra em combustão e inicia-se o processo de degradação. A capacidade de carga é um fator que varia de acordo com a dimensão da secção transversal, a qual, por sua vez, é função da quantidade carbonizada da madeira. Por outro lado, como a camada carbonizada impede o avanço do fogo, o restante material intacto não sofre alteração das propriedades, podendo assim exercer as suas funções estruturais. Na Figura 5 estão representadas as diferentes camadas resultantes do efeito da carbonização e a redução da secção.

De modo a determinar a resistência ao fogo em elementos de construção, os materiais são testados segundo as condições normalizadas definidas pela curva de fogo ISO 834 [10]. Esta curva segue uma função logarítmica, descrita pela equação 6, e representa a evolução da temperatura  $T$  (°C) em função do tempo  $t$  (min), conforme se pode observar na Figura 6.

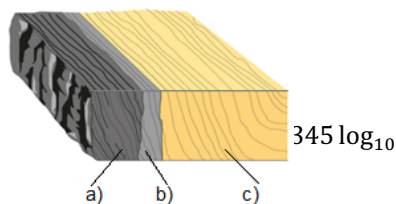


Figura 5: Zonas na madeira:  
a) carbonização, b) pirólise;  
c) intacta

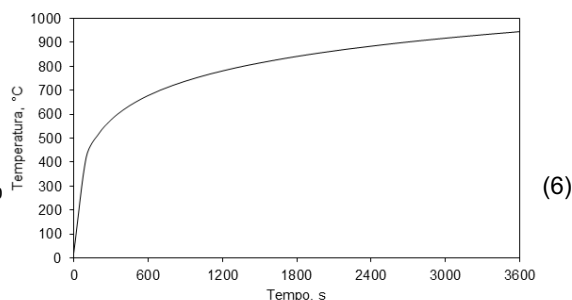


Figura 6: Curva normalizada ISO 834 [10]

A velocidade de carbonização numa direção  $\beta_0$  em mm/min é calculada em função da profundidade da espessura de madeira carbonizada em mm, e do tempo de exposição ao fogo em min. No entanto, a carbonização entre os ligadores metálicos sofre uma distribuição não uniforme (um arredondamento) devido ao calor transferido pela chapa e pelas cavilhas metálicas. Neste caso, a variação da velocidade de carbonização é contabilizada por esse efeito,  $\beta_n$  em mm/min.

Para a avaliação do comportamento ao fogo das ligações em estudo, foi utilizado o método dos elementos finitos com recurso ao algoritmo térmico em regime transiente, em que as propriedades dos materiais são não lineares. Na Figura 7 estão representadas a malha de elementos finitos utilizada para o estudo, o plano de simetria e as condições de fronteira. Na simulação foi utilizado o elemento PLANE 77 com 8 nós e com um grau de liberdade de temperatura por nó. O tamanho fixo de cada elemento finito é 2 mm, definido após um estudo da convergência do modelo. Neste trabalho, adotou-se a utilização da curva de incêndio padrão ISO 834 [10] para simular a ação do fogo, tendo sido consideradas as condições de fronteira de convecção e radiação, na frente de exposição. No instante inicial, o modelo foi considerado à temperatura ambiente de 20°C. Foi utilizado um coeficiente de convecção igual a 25W/m<sup>2</sup>K na superfície exposta e um fator de emissividade de 1 para a ação do fogo. O efeito da carbonização da madeira é analisado pela linha isotérmica de 300°C [7], conforme pormenor entre as duas cavilhas, visível na imagem da Figura 7.

Com base nos resultados numéricos, determinou-se a velocidade de carbonização da madeira nas ligações desprotegidas. Na Figura 7 observa-se que a carbonização da madeira apresenta uma distribuição não uniforme, com uma forma arredondada próximo dos vértices, devido à presença dos elementos em aço ( $d_{char,0}$  representa a espessura carbonizada numa direção linear e  $d_{char,n}$  na direção de maior velocidade de carbonização). A presença da chapa de aço externa leva ao aparecimento de uma região carbonizada de forma indireta, devido ao calor transferido pela mesma. O Eurocódigo 5 parte 1-2 [7] só estabelece velocidades de carbonização para ligações cujos membros externos são unicamente em madeira. Porém, a presença dos elementos em chapa conduz a uma distribuição não uniforme da velocidade de carbonização, pelo que será importante verificar o cálculo da mesma.

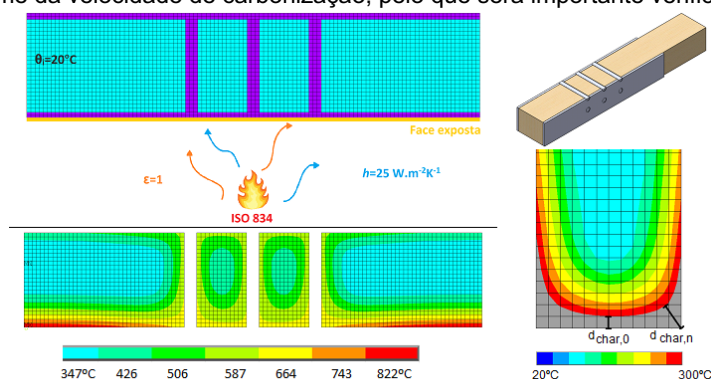


Figura 7: Malha de elementos finitos do plano de simetria da ligação (elementos a roxo=aço e elementos a azul=madeira), condições de fronteira e carbonização

A partir dos resultados das simulações numéricas, identificaram-se as espessuras da camada carbonizada nas duas direções da madeira, em três intervalos de tempo distintos, 600, 700 e 800s, a partir dos quais são determinados os valores da velocidade de carbonização, apresentados na Tabela 4.

Analisando os resultados, observa-se que a velocidade de carbonização não permanece constante e aumenta com o tempo de exposição ao fogo. No entanto, esta diminui com o aumento do diâmetro das cavilhas e com o aumento da massa volúmica da madeira. Os resultados mostram valores de carbonização significativamente diferentes entre a direção de maior velocidade  $\beta_n$  e a direção linear  $\beta_0$ . A diferença é explicada pelo efeito de condução de calor dos elementos em aço. Os valores da velocidade de carbonização definidos pelo Eurocódigo 5 parte 1-2 [7], são calculados para frentes de exposição direta ao fogo. Para o tipo de madeira em estudo, com a massa volúmica igual ou superior a  $290\text{kgm}^{-3}$ , os valores definidos são:  $\beta_0=0,65\text{mm/min}$  e  $\beta_n=0,7\text{mm/min}$  [7]. Com base nestes valores, observa-se que a presença da chapa em aço retarda a velocidade de carbonização em 97% dos casos em estudo. Nos modelos em que a velocidade de carbonização ultrapassou os valores definidos pelo Eurocódigo, correspondem às regiões com maior velocidade de carbonização e para tempos de exposição ao fogo superiores. Como se observou, em situações associadas à utilização de diferentes variáveis, como a massa volúmica da madeira, a presença de outros materiais, a transferência de calor efetuada de forma indireta para a madeira, é necessária uma análise distinta, através, por exemplo, do uso de métodos alternativos de cálculo.

Tabela 4: Resultados numéricos da velocidade de carbonização

	$d$ , mm	$\beta_0$ , mm.min <sup>-1</sup>			$\beta_n$ , mm.min <sup>-1</sup>		
		600 s	700 s	800 s	600 s	700 s	800 s
<b>GL20h</b>	6	0,20	0,34	0,54	0,45	0,66	0,77
	8	0,20	0,27	0,38	0,41	0,62	0,70
	10	0,20	0,29	0,33	0,40	0,58	0,68
	12	0,20	0,29	0,33	0,43	0,59	0,71
<b>GL24h</b>	6	0,20	0,33	0,45	0,44	0,60	0,73
	8	0,18	0,26	0,30	0,41	0,56	0,66
	10	0,18	0,26	0,30	0,38	0,55	0,65
	12	0,20	0,27	0,30	0,38	0,42	0,64
<b>GL28h</b>	6	0,18	0,29	0,39	0,40	0,55	0,67
	8	0,18	0,24	0,30	0,34	0,63	0,63
	10	0,18	0,24	0,29	0,31	0,50	0,60
	12	0,20	0,22	0,20	0,33	0,49	0,44
<b>GL32h</b>	6	0,16	0,26	0,38	0,40	0,51	0,65
	8	0,16	0,22	0,29	0,34	0,49	0,59
	10	0,18	0,22	0,29	0,32	0,48	0,44
	12	0,20	0,22	0,27	0,27	0,38	0,50

Com base nas regras definidas pelo Eurocódigo 5 parte 1-2 [7] e Eurocódigo 3 parte 1-2 [9], foram determinadas as espessuras necessárias do material de proteção, a utilizar na resistência ao fogo das ligações em estudo. Em função dos resultados numéricos obtidos, as ligações do tipo GL32h com cavilhas  $d=12\text{mm}$  apresentam a menor velocidade de carbonização, tendo sido calculada uma espessura de 8mm na utilização da madeira lamelada colada e 13mm na proteção em gesso tipo F, num tempo de exposição de 30min. Na Figura 8, apresenta-se o campo de temperaturas relativo a este tipo de ligação, com e sem proteção, quando exposta ao fogo.

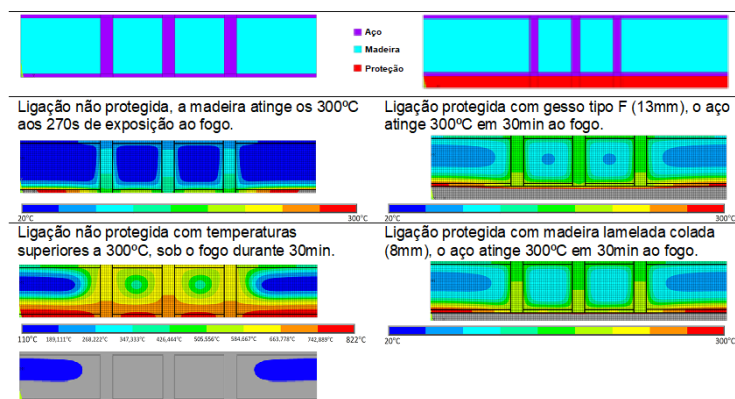


Figura 8: Resultados numéricos do campo de temperaturas

Impondo a linha isotérmica de 300°C verifica-se que a ligação não protegida atinge o avanço da carbonização aos 270s. Para um tempo de exposição ao fogo de 30min quase toda a ligação não protegida atinge temperaturas superiores a 300°C. Nas ligações protegidas com o gesso tipo F ou com a madeira lamelada colada permitem a proteção da ligação durante 30min, tempo a partir do qual a temperatura de 300°C atinge o elemento em aço. Apesar da menor espessura da madeira lamelada colada, observa-se que esta oferece o mesmo grau de proteção que o gesso do tipo F para o mesmo tempo de exposição.

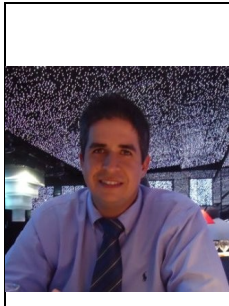
## 6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos para o dimensionamento à temperatura ambiente, conclui-se que a diminuição do diâmetro das cavilhas e o aumento da carga aplicada contribuem para o aumento do número de cavilhas na ligação. Por outro lado, verificou-se que influência da massa volúmica diminui no número de cavilhas com o aumento do diâmetro da cavilha. Quando expostas ao fogo, as placas externas e as cavilhas em aço aquecem rapidamente e transferem calor para o interior da ligação em madeira, apesar de se observar um ligeiro atraso no processo de carbonização. O presente trabalho mostra a influência dos elementos de ligação em aço na velocidade de carbonização. Para a situação em estudo, os métodos alternativos de cálculo demonstraram ser uma ferramenta adicional de análise. Com o estudo efetuado, conclui-se que as ligações desprotegidas têm uma fraca resistência ao fogo, reforçando assim a sugestão do Eurocódigo 5 parte 1-2 [7] para a não utilização de ligações em madeira desprotegidas. O Eurocódigo 5 parte 1-2 [7] apresenta velocidades de carbonização para ligações cujos membros externos são em madeira. No entanto, o facto do membro externo ser em aço e a utilização de diferentes massas volúmicas da madeira, impõe uma variação nos valores da velocidade de carbonização. Da análise térmica, concluiu-se que a ligação com maior diâmetro de cavilha e maior massa volúmica da madeira apresenta uma resistência ao fogo superior. Contudo, somente a utilização de um material de proteção permite uma resistência ao fogo.

## REFERÊNCIAS

- [1] Austruy, C. - *Fire resistance of timber connections*, report, October 2007, p. 1-34.
- [2] Frangi, A.; Erchinger, C.; Fontana, M. - *Experimental fire analysis of steel-to-timber connections using dowels and nails*, Fire and Materials: An International Journal, vol. 34, no. 1, 2010, p. 1-19.
- [3] Peng, L.; Hadjisophocleus, G.; Mehaffey, J.; Mohammad, M. - *On the Fire Performance of Double-shear Timber Connections*, Fire Safety Science, 2011, p. 1207-1218.
- [4] Leite, P.A.S.; Silva, L.; Fonseca, E.M.M. - *The fire resistance of (W-W-W) wood-to-wood connections protected with different types of gypsum plasterboard*, 5th Iberian-Latin-American Congress on Fire Safety – CILASCI 5, 2019, p. 543-552.
- [5] Silva, L.; Leite, P.A.S.; Fonseca, E.M.M. - *The density effect in (W-S-W) wood connections with internal steel plate and passive protection under fire*, 5th Iberian-Latin-American Congress on Fire Safety – CILASCI 5, 2019, p. 563-571.
- [6] CEN, EN1995-1-1: Eurocode 5: *Design of timber structures*. Part 1-1: General Common rules and rules for buildings, Brussels, 2004.
- [7] CEN, EN1995-1-2: Eurocode 5: *Design of timber structures*. Part 1-2: General Structural fire design, Brussels, 2004.
- [8] CEN, EN1993-1-1: Eurocode 3: *Structural fire design*. Part 1-1: General rules, Brussels, 2005.
- [9] CEN, EN1993-1-2: Eurocode 3: *Structural fire design*. Part 1-2: General rules, Brussels, 2005.
- [10] ISO, ISO 834: *Fire-resistance tests-Elements of building construction*. Part 1: General requirements, 1999.

## SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM HOSPITAIS – EVACUAÇÃO E RISCOS APLICADOS A PESSOAS COM MOBILIDADE REDUZIDA BASEADA NOS REGULAMENTOS DE SCIE E ACESSIBILIDADE NO BRASIL.



**Antonio Rubens R.  
A. Junior**  
Doutorando  
UC - Coimbra



**João Paulo C.  
Rodrigues**  
Professor  
UC - Coimbra

### SUMÁRIO

Neste resumo apresenta-se uma síntese de um trabalho de pesquisa que teve como objetivo desenvolver uma discussão, melhor compreensão e uma análise da legislação e dos regulamentos existentes no Brasil para a orientação de novos projetos e construção de novos edifícios hospitalares com ênfase na segurança contra incêndio e meios de evacuação de pessoas com mobilidade reduzida em caso de incêndio em hospitais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mobilidade reduzida; Evacuação; Incêndio; Hospitais.

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a segurança contra incêndios passa a ocupar um espaço muito importante na concepção de novas edificações. Seja definindo, de forma direta nos projetos arquitetônicos, os espaços e materiais de acabamento e revestimento ou de forma mais indireta, através de simulacros e formações nas mais devidas profissões com abordagem para esta temática, visto a necessidade de salvaguardar vidas humanas.

Em uma situação de incêndio, a segurança dos ocupantes de um edifício deve ser a prioridade podendo esta condicionante depender diretamente de um procedimento de evacuação de emergência. Ao longo dos anos, temos presenciado a ocorrência de incêndios de grandes proporções em edifícios.

A complexidade arquitetônica dos edifícios hospitalares e as características de grande parte das pessoas presentes em edifícios deste tipo requer uma maior atenção na questão da segurança contra incêndios. Estar inserido em um edifício seguro contra incêndios é uma garantia para a salvaguarda das pessoas que frequentam esses espaços (pacientes, trabalhadores e visitantes) e, desta forma, cumprindo o principal objetivo da segurança contra incêndios em edifícios (SCIE).

No Brasil, pouca importância é dada ao tema. Não há divulgação de estatísticas oficiais das ocorrências de incêndios em hospitais do País e a divulgação deste problema para a sociedade é limitada aos casos onde ocorrem danos consideráveis ou a existência de mortes decorrentes do incêndio. Em alguns Estados, o Corpo de Bombeiros contabiliza o número de incêndios a partir das ocorrências para as quais foram chamados. O Instituto Sprinkler Brasil (ISB), realiza levantamentos estatísticos, desde 2012, a partir de notícias vinculadas sobre o tema. Desta forma, muito dos incêndios ocorridos são desconhecidos da população usuária destes edifícios e que, como consequência, cria a sensação de que ao frequentar uma edificação hospitalar estão seguras na temática dos incêndios.

## 2. A SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM HOSPITAIS

Ultimamente, os incêndios em unidades hospitalares estão mais frequentes e deixam claros que não podem ser considerados casos isolados. As organizações de serviços de saúde, não diferente de outras, ainda demonstram uma grande falta de cultura em segurança. No que diz respeito a segurança contra incêndios, é claramente possível visualizar o extenso caminho que resta ser percorrido para que exista uma melhoria significativa da prevenção e segurança contra incêndios em edifícios destinados a serviços de saúde.

A inexistência de dados oficiais sobre incêndios em hospitais decorre de uma possível relativização e subestimação deste tema. O ISB realiza, de forma informal, um registo de ocorrências por meio da coleta diária de notícias de incêndio nos meios de comunicação. (Tabela 1).

Ano	Ocorrências de incêndio
2012	28
2013	28
2014	56
2015	60
2016	Não houve registros
2017	22
2018	17
2019	39
2020 (Jan – Out)	54

Tabela 6 - Estatística de incêndios em hospitais no Brasil

### A Segurança Contra Incêndio nos projetos de arquitetura

Um edifício pode ser considerado como um bem colocado a disposição, de uma sociedade ou de grupo de pessoas, com a finalidade de abrigar atividades condicentes a função e ao seu uso. Atualmente, a concepção de um projeto arquitetônico de um edifício deve seguir diversos regulamentos, normas técnicas e requisitos que devem ser seguidos prioritariamente não sobrepondo ou limitando a função, o uso e os costumes (princípios do “partido” arquitetônico), mas sim permitir incorporar, a forma imaginada, a funcionalidade desejada e a segurança do edifício, de forma eficaz ao projeto de arquitetura.

Segundo Puls [2] *“a arquitetura não expressa o espaço em si, mas a vida que habita esse espaço.”* Um edifício é um volume de matéria onde a forma define um vazio onde o homem desenvolve suas atividades. Para um indivíduo um edifício é uma junção de forma e matéria que pode ser percebida pelo tato (tocar a forma, tocar a matéria) e pela visão (ver a forma, ver a matéria). Esta forma de percepção do edifício determina quatro propriedades da construtivos do objeto: extensão, configuração, resistência e acessibilidade. É neste conceito de acessibilidade que podemos introduzir o pensamento da segurança contra incêndio na concepção arquitetônica.

*“A acessibilidade requer uma estrutura vedante que proteja os indivíduos de fatores externos e ofereça a cada usuário o espaço adequado para a realização de suas tarefas.”* [2]. No âmbito da concepção arquitetônica a estética não deve sobrepor a função e vice-versa. A importância da construção para a arquitetura é tanta que se poderia afirmar que não há concepção sem consciência construtiva. A construção é um instrumento fundamental para conceber, não apenas uma técnica para resolver problemas.

### A legislação brasileira de Segurança Contra Incêndio.

Diferentemente do que aconteceu no mundo, no Brasil, a problemática dos grandes incêndios era vista como assunto relacionada somente aos Corpos de Bombeiros. Em 1961, ocorreu o maior incêndio, em perdas de vida, no Brasil. O incêndio do Gran Circo Norte Americano, em Niterói, Rio de Janeiro, onde 250 pessoas morreram e 400 ficaram feridas. Somados a esta tragédia, os incêndios dos edifícios Andraus e Joelma e o impacto, causado por ambos, na sociedade civil, houve o reconhecimento que eram reais as possibilidades de grandes incêndios com vítimas.

A regulamentação existente era limitada a alguns Códigos de Obras Municipais (resumido, basicamente, a largura das saídas e escadas e da incombustibilidade de escadas e da estrutura de prédios elevados), algumas poucas regulamentações do Corpo de Bombeiros (orientados pelas empresas seguradoras) e da ABNT regulamentando assuntos ligados a fabricação de extintores de incêndio.

Em 1974, foi realizado no Clube de Engenharia do Rio de Janeiro, o primeiro Simpósio de Segurança Contra Incêndio, procurando desenvolver metodologias em: como evitar incêndios, como combater e como minimizar os efeitos dos incêndios [4]. Contudo, até o ano de 2019 o Brasil ainda não possui um Código Nacional de Prevenção de Incêndios. Somente após o incêndio, em 2013, na Boate Kiss, que vitimou 242 pessoas e deixou 636 feridas, no ano de 2017 o governo brasileiro publicou a Lei Federal 13.425, popularmente chamada de Lei Kiss, que estabelece as diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público. Porém, esta nova lei não criou um código nacional.

Atualmente, a SCIE é contemplada por dois métodos, um método prescritivo e por um método experimental (baseado em desempenho). No primeiro, os códigos, normas e regulamentos definem os sistemas de segurança contra incêndio conforme a classificação do tipo de ocupação do edifício e de suas características arquitetônicas (área construída, altura, etc.). No segundo método, a SCI contempla o edifício como um todo. Uma série de parâmetros são utilizados para calcular o nível da segurança aos incêndios, os riscos de um incêndio acontecer, o comportamento das pessoas de acordo com a localização do incêndio e as condições de propagação.

Podemos afirmar que em termos de legislação e normas técnicas o Brasil pode ser comparado a uma colcha de retalhos. Existem em vigência as Normas Regulamentadoras (NRs), as normas técnicas (NBRs), as legislações estaduais dos Corpos de Bombeiros, as normas de segurança contra incêndio da ANVISA e, a partir de 2019, o Modelo Nacional de Segurança Contra Incêndio e Emergências.

As Normas Regulamentadoras, conhecidas como NRs, são de responsabilidade e elaboradas pelo antigo Ministério do Trabalho do Brasil, hoje Secretária Especial de Previdência e Trabalho. Foram criadas em julho de 1978 com o objetivo de padronizar, fiscalizar e fornecer orientações sobre procedimentos obrigatórios relacionados à segurança e à medicina do trabalho, aprovou 28 Normas Regulamentadoras (NRs), hoje são 36, que tratam do assunto. No âmbito da SCI, encontra-se a NR 23 – Proteção Contra Incêndios, tendo sua revisão atual lançada em 2011. A NR 23, no primeiro parágrafo, remete às regras das legislações estaduais, quando afirma que “Todos os empregadores devem adotar medidas de prevenção contra incêndio, em conformidade com a legislação estadual e normas técnicas aplicáveis”.

As legislações estaduais de prevenção contra incêndio são elaboradas e definidas pelo Corpo de Bombeiros Militar de cada Estado do Brasil por meio de Decretos Estaduais associados a Instruções Técnicas que estabelecem os critérios e exigências para proteção contra incêndios dos diversos tipos de edificação. Atualmente, a legislação de São Paulo é considerada a mais atual do Brasil, composta por 45 Instruções Técnicas (IT), sendo copiada pelos Corpos de Bombeiros de outros Estados.

As normas técnicas são de responsabilidade da ABNT e são elaboradas pelo método descritivo. No ano de 2019 a ABNT publicou normas específicas de segurança contra incêndio para estabelecimento de saúde. A norma NBR 16651 - Proteção contra incêndios em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) – Requisitos, estabelece os requisitos de proteção contra incêndios para projetos de construção e reforma, objetivando à segurança contra incêndio em edificações e áreas de risco destinadas aos estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS). Essa norma não se aplica aos hospitais de campanha, clínicas e hospitais móveis, unidades de saúde com restrição de liberdade e hospitais veterinários. Os seus requisitos são baseados na hipótese de uma única fonte de fogo. Entre os temas contemplados, estão o controle de materiais de acabamento e revestimento; sinalização, iluminação e alarme de emergências; rotas de fuga; além de equipamentos, como extintores, hidrantes e mangotinhos.

No rol das normas da ABNT, encontra-se vigente a NBR 9077 – Saídas de Emergência em Edifícios que apresenta as exigências para o abandono de pessoas em caso de incêndio e a facilidade de acessos para os meios externos de combate ao incêndio. Ainda no âmbito das normas técnicas, a NBR 9050 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, revisada em 2020, que estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quanto ao projeto, construção, instalação e adaptação do meio urbano e rural, e de edificações às condições de acessibilidade. Esta Norma visa proporcionar a utilização de maneira autônoma, independente e segura do ambiente, edificações, mobiliário, equipamentos urbanos e elementos à maior quantidade possível de pessoas, independentemente de idade, estatura ou limitação de mobilidade ou percepção.

Em 2017, a Secretaria Nacional de Segurança Pública (Senasp), em conjunto com a Frente Parlamentar Mista de Segurança Contra Incêndio, entendeu necessária a criação de grupo de trabalho com o intuito de colaborar e incentivar os estados e o Distrito Federal, nos estudos e atualizações das normas referentes à segurança contra incêndios e emergências. O Modelo Nacional de Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Emergências é resultado do trabalho do grupo que contou com a participação de bombeiros militares, que compõe a Senasp, bem como de representantes do Conselho Nacional dos Corpos de Bombeiros Militares (LIGABOM).[5]

Este modelo de Nacional de Regulamento de Segurança Contra Incêndio, aprovado pela Portaria 108 de 12 de julho de 2019, propõe a padronização dos requisitos exigíveis nas edificações e áreas de risco, estabelecendo normas de segurança contra incêndios e emergências, além de subsidiar os estados e o Distrito Federal na atualização ou instituição das leis estaduais. A Secretaria Nacional de Segurança Pública realizará a divulgação e atualização do regulamento e a adoção ficará a critério dos estados e do Distrito Federal.

### **Classificação de edifícios hospitalares conforme a legislação brasileira.**

No Brasil, as medidas de segurança e os critérios de sistemas de proteção contra incêndios necessários para os projetistas de SCIE elaborarem os projetos de proteção contra incêndio dependem da classificação dos edifícios quanto ao seu uso e finalidade, altura e sua área construída. Nas legislações e normativos já citados neste trabalho, é possível encontrarmos a classificação de um edifício hospitalar quanto a sua ocupação, em grupo e divisão; quanto a altura; quanto as suas dimensões em planta e quanto as características construtivas da edificação.

Segundo o Modelo Nacional de Segurança Contra Incêndio e Emergências, Portaria 108/2019, os hospitais são classificados quanto a sua ocupação, no Grupo H, Divisão H-3, (Figura 9) semelhante a classificação da NBR 9077. No Art.º.19 estão definidos os parâmetros que deveram ser considerados para determinar as medidas de segurança contra incendio de um edifício, são eles:

- I - a ocupação ou uso;
- II - a altura;
- III - a carga de incêndio;
- IV - a área construída;
- V - a capacidade de lotação;
- VI - os riscos específicos.

Ainda no contexto normativa, a NBR 9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quanto ao projeto, construção, instalação e adaptação do meio urbano e rural, e de edificações às condições de acessibilidade. Dentro da SCIE, a NBR 9050, em relação as rotas de fuga devem ser sinalizadas conforme a NBR 13434 – Sinalização de Segurança Contra Incêndio e Pânico e iluminadas com dispositivos de balizamento conforme a NBR 10898 – Sistemas de Iluminação de Emergência. Em relação ao dimensionamento das rotas de fuga (porta, escadas e corredores) estas devem atender ao disposto na NBR 9077.

### **3. A QUESTÃO DA EVACUAÇÃO EM CASO DE INCÊNDIO**

Os edifícios hospitalares possuem uma complexidade devido as suas funções, tamanho e as configurações exigem maior atenção aos problemas relacionados com as saídas e a salvaguarda dos ocupantes do edifício. Nos hospitais, atualmente, podemos encontrar diversos serviços e não somente pessoas doentes e estas características do edifício demonstram a complexidade deste tipo de edificação. Segundo Ono [8] podemos perceber a complexidade de um projeto hospitalar pode ser percebida pelo extenso programa de necessidades, múltiplas redes de instalações prediais, instalações complexas para equipamentos médicos, parâmetros funcionais rigorosos e necessidade de flexibilidade construtiva para futuras incorporações de tecnologias médicas.

#### **A influência do comportamento humano**

Um processo de evacuação particularmente difícil envolve os edifícios hospitalares, já que os mesmos podem acomodar grandes quantidades de pessoas, entre elas pessoas acamadas e pessoas com mobilidade reduzida, e possuem longas distâncias horizontais ou verticais. Em caso de emergência, os ocupantes precisam de tempo para fugir de seu local atual do edifício para um local seguro. A questão principal na elaboração de um projeto hospitalar é quanto tempo é o tempo de evacuação dos ocupantes desse tipo de edifício?

Ao dimensionarmos as medidas de segurança a serem projetadas e desenvolvidas para um edifício e ocorrendo a necessidade de evacuação de um edifício devemos ter em mente o comportamento humano como o ponto mais

importante a ser considerado. É necessário considerar que, a uma mesma situação de emergência, duas pessoas podem reagir de forma diferente (considerando diversos fatores) e que uma mesma pessoa pode reagir de forma diferente a uma situação de perigo semelhante em momentos diferentes.

### **Resposta ao alarme de incêndio**

A evacuação eficiente de um edifício em caso de emergência é crucial para garantir a segurança dos ocupantes. Em relatos de eventos após o início de um sinal de alarme de incêndio, os ocupantes do edifício relataram não ter certeza se o alarme indicava um incêndio real ou foram observados em atividades diferentes de evacuação. Em alguns casos, as pessoas ficaram a terminar uma tarefa porque não compreendem a ocorrência de uma emergência.

Fitzpatrick, C. & Mileti, D. S.[10], descrevem cinco fases após um alerta de emergência. Situações complexas podem surgir em cada fase, aumentando o tempo de resposta a situação de emergência, o que pode resultar em atrasos na evacuação de um edifício, são elas:

- **Audição** – Após a emissão de um alarme de emergência não é possível garantir que todos os destinatários pretendidos notarão o alarme, mesmo que tenham capacidade física. A não audição destes alarmes sempre resulta em respostas atrasadas. Deve ser garantida a audibilidade de um alarme em estudo específico na elaboração do projeto deste sistema com previsão de meios de redundâncias do sistema usando alarmes visuais adicionais;
- **Compreensão** – A percepção de um alarme não pode ser equiparada à compreensão do próprio alarme e à compreensão da importância deste alarme. Um alarme de incêndio constitui um sinal de aviso de significado ambíguo. Este sinal pode ser percebido como uma situação de emergência, mas a indicação do perigo e as ações associadas ao sinal podem não ser compreendidas pelos ocupantes do edifício, principalmente quando estes nunca ouviram o sinal de alarme anteriormente.
- **Identificação de alarme real** – As respostas humanas aos alarmes são influenciadas pela avaliação individual de cada pessoa a fatores como a urgência e seriedade do alarme. Podemos observar, no contexto de alarmes de incêndio, o chamado efeito *cry wolf* quando há dessensibilização dos ocupantes de um edifício quando da frequência de alarmes falso. O efeito *cry-wolf* pode fazer com que os usuários não confiem e até mesmo ignorem os alarmes de incêndio, continuando suas atividades e até mesmo levar a uma recusa de evacuação.
- **Reconhecendo a importância do alarme** – A avaliação da credibilidade de um alarme de incêndio desempenha um papel fundamental em um processo de evacuação. O reconhecimento da relevância de um alarme de incêndio somente poderá ocorrer se as pessoas se considerarem os destinatários efetivos deste alarme. Associar informações específicas sobre o perigo representado pelo alarme pode ajudar a aumentar o reconhecimento e a relevância do alarme.
- **Decisão e ação** – Após a compreensão de um alarme de incêndio, as pessoas podem apresentar três comportamentos em particular: - Aguardar próximas instruções; - Busca de novas informações para tomada de novas decisões; - Deixar efetivamente o edifício.

Estas fases descritas acima devem ser consideradas na concepção de sistema de alarme de incêndio eficaz e que facilite o início de um processo de evacuação. Na concepção do projeto do sistema de alarme devem ser considerados recursos comuns e adicionais como por exemplo: volume, tipo de som, escolha das palavras (em caso de sistema de alarme por voz), visitantes que não falam o idioma local e recursos para os diferentes tipos de usuários encontrados em uma edificação hospitalar.

## **4. ESTUDO DE CASO**

Para exemplificar como classificar um edifício hospitalar, dimensionar as saídas de emergências e de demais aspectos abordados nesse trabalho. Como exemplo, é proposto um estudo de caso do Hospital Universitário, administrado pela Universidade Federal de Alagoas, em Maceió – Alagoas – Brasil.

## Características e classificação do edifício conforme as normas brasileiras.

**Tipo de edificação:** Hospital

Área total construída: 25.000,00 m<sup>2</sup>

Número de Pavimentos: 06 (seis) Pavimentos

Altura da edificação ou descendente: 29,00m

### Classificação conforme a NBR 9077

Tabela 1 – Classificação das Edificações quanto a sua ocupação.

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
H	Hospital	H-3	Hospital	Hospital Carga Incêndio 300 MJ/m <sup>2</sup>

Tabela 2 – Classificação a altura.

Código	Denominação	Altura
N	Edificação medianamente alta.	12,00m < H -30,00m

Tabela 3 – Classificação das Edificações quanto as suas dimensões em planta.

Natureza do enfoque	Código	Classe da edificação	Parâmetros de área
$\gamma$	V	Edificação grande	1500m <sup>2</sup> =< St > 5.000m <sup>2</sup>

Tabela 4 – Classificação das Edificações quanto às suas características construtivas.

Código	Tipo	Especificação	Exemplos
Z	Edificações com mediana resistência ao fogo	Edificações com estrutura resistente ao fogo, mas com fácil propagação de fogo entre os pavimentos	Lojas com galerias elevadas e vãos abertos e outros.

### Dimensionamento das saídas de emergência

O cálculo das saídas de emergência das edificações tem como objetivo fazer com que sua população possa via a abandoná-las, em caso de incêndio, completamente protegida em sua integridade física. Além disto, deve permitir o fácil acesso de auxílio externo para o combate ao fogo e a retirada da população.

Em seu dimensionamento, conforme a NBR 9077, deve-se utilizar a seguinte fórmula:

$N = P/C$ , onde:

N = número de unidades de passagem (U.P.) necessárias para a evacuação segura;  
P = população, conforme coeficiente da Tabela 5 da NBR 9077;  
C = capacidade da unidade de passagem, conforme Tabela 5 da NBR 9077.

*Cada 0,55m de abertura de porta ou largura de escada existente em uma edificação corresponde a 1 unidade de passagem.*

### **Cálculo das Saídas de Emergência conforme a NBR 9077 e IT-11.**

*Maternidade – 2 andar:*

Área útil para cálculo da população: 1.450,00 m<sup>2</sup>

População Área Útil: 1.450,00 m<sup>2</sup> (referente a metragem útil do pavimento): 7 (1 pessoa por 7 m<sup>2</sup> de ambulatório)  
+ 1,5 pessoa por leito = 107 pessoas nesta área – Capacidade Máxima

População Máxima Total do Pavimento: 107 Pessoas

Para corredores:

N= P/C ----- N= 107: 30 = 3,56 ----- 3,56 x 0,55 = 1,96 metros

Para escadas e rampas

N= P/C ----- N= 107: 22 = 4,86 ----- 4,86 x 0,55 = 2,67 metros

Para portas

N= P/C ----- N= 107: 30 = 3,56 ----- 3,56 x 0,55 = 1,96 metros

### **Cálculo da Evacuação.**

Na regulamentação brasileira não há critérios para o tempo mínimo de evacuação de um edifício. Porém, em fase de projeto, é possível elaborar um estudo mais detalhado do tempo de evacuação de um edifício, seja por cálculo simples ou por modelagem computacional.

Para análise das condições mínimas das saídas de emergência neste estudo de caso, propõe-se a elaboração do tempo de evacuação destes pavimentos infra.

### **Métodos Simplificados.**

Para demonstrar o tempo de evacuação e resultados obtidos a partir de cálculos através de métodos simplificados, foi adotado, neste trabalho, o método de Predtechenskii-Milinskii. O objetivo desta etapa é analisar as exigências dos normativos com os resultados que se obtém da aplicação do método já que deste consideramos os parâmetros de velocidade, densidade e fluxo em função das larguras das portas, distância a ser percorrida e áreas de circulação

O tempo médio de grupo em segundos é calculado pela soma das relações pessoas por fluxo com a relação distância a percorrer por velocidade empregada.

$$\text{Tempo} = \frac{\text{Pessoas}}{\text{Fluxo}} + \frac{\text{Distância a percorrer}}{\text{Velocidade}}$$

$$T_1 = \frac{P}{F} + \frac{d}{V} = \frac{107}{0,09} + \frac{70,35}{1,0} = 1259,23 \text{ s}$$

$$T_2 = \frac{P}{F} + \frac{d}{V} = \frac{107}{0,17} + \frac{34,41}{1,0} = 663,82 \text{ s}$$

## 5. CONCLUSÃO

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho objetivou-se abordar a problemática da evacuação de um edifício hospitalar, devido a complexidade da arquitetura desta tipologia de edifício e dos diversos grupos de pessoas inseridos nestes. Foram apresentadas as regulamentações e normativos brasileiros na área da segurança contra incêndio e os critérios mínimos exigidos para projeto de sistemas de segurança contra incêndio e projeto arquitetônico de uma edificação hospitalar.

A disposição arquitetônica de um edifício hospitalar é, basicamente, definida para cumprimento dos critérios da NBR 9077 e das ITs dos Corpos de Bombeiros relacionadas as saídas de emergência em edifícios. O cumprimento destes critérios pode não representar uma segurança real, tanto pelos conceitos definidos nestas normas quanto pela inexistência da comprovação, através de uma simulação computacional, de evacuação em fase de estudo prévio do projeto arquitetônico.

Pode-se observar uma pequena preocupação com pessoas em cadeira de roda ao prever uma área de refúgio, por pavimento, para cada 500 pessoas de lotação do edifício. Porém, estas áreas podem ser consideradas subdimensionadas a depender da ocupação momentânea do edifício, além de desconsiderar a necessidade de locomoção destes ocupantes no pavimento de descarga. Em relação as pessoas com mobilidade reduzida não se observam requisitos mínimos para a proteção contra incêndio e o tempo mínimo de evacuação do edifício considerando este grupo de pessoas como parte significativa de um edifício hospitalar.

Foi apresentada um estudo de caso, onde o pavimento estudado apresenta os requisitos mínimos para as saídas de emergência conforme descrito na NBR 9077. Contudo, utilizando os cálculos do tempo de evacuação definidos pelo método de Predtechenskii-Milinskii, foi possível constatar que o tempo médio de 21 minutos para evacuação de um único andar pode ser demasiadamente elevado para uma evacuação segura em situação de incêndio.

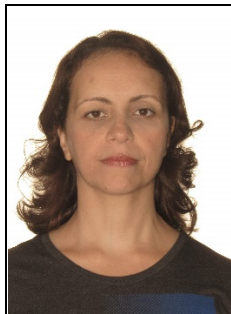
Fica evidenciada a necessidade de revisão das normas brasileiras com o objetivo de considerar não somente as larguras mínimas, quantidades e tipos de escada, e sim prever medidas mais rígidas para compartimentação do fogo e meios de prever o tempo mínimo para evacuação de um edifício hospital com foco em uma melhor disposição das rotas de fuga na concepção do projeto arquitetônico.

Por fim, conclui-se que os tempos de evacuação obtidos com o cálculo através de uma expressão teórica são sensivelmente elevados, considerando as diferentes velocidades de marcha assumidos no método, e que o modelo prescritivo das normas brasileiras pode não ser eficiente, no quesito dimensionamento das saídas de emergência, com o tempo real para a evacuação de um edifício de elevada complexidade.

## REFERÊNCIAS

- [1] J. G. do Povo, "Incêndio Hospital Brasília." <https://www.gazetadopovo.com.br/republica/breves/incendio-atinge-hospital-em-brasilia-unidade-e-referencia-para-tratamento-de-covid-19/> (accessed Nov. 08, 2020).
- [2] M. Puls, *Arquitetura e Filosofia*. 2006.
- [3] W. Negrisolo, "Arquitetando a segurança contra incêndio," 2011.
- [4] V. P. Silva, *Segurança contra incêndios em edifícios*. São Paulo, 2014.
- [5] MJSP, "Modelo Nacional de Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Emergências," *MJSP*, 2019. .
- [6] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Nbr 9050:2020 Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. 2020.
- [7] F. B. Serpa, "A Segurança contra incêndio como abordagem de conservação do patrimônio histórico edificado," 2009.
- [8] A. F. Berto, "Medidas de proteção contra incêndio: aspectos fundamentais a serem considerados no projeto arquitetônico dos edifícios," 1991.
- [9] A. G. Venezia and R. Ono, "Aplicação De Método De Análise De Risco Visando O Aprimoramento Da Segurança Contra Incêndio No Decorrer Do Processo De Projeto De Hospitais De Grande Porte," *Gestão Tecnol. Proj.*, vol. 8, no. 2, p. 89, 2013, doi: 10.11606/gtp.v8i2.68274.
- [10] *SFPE Guide to Human Behavior in Fire*. 2019.
- [11] D. S. Fitzpatrick, C. & Mileti, "Public risk communication. In R. R. Dynes & K. Tierney (Hrsg.), *Disasters, collective behaviour, and social organisation*," *Univ. Delaware Press*, 1994.
- [12] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, "NBR 9077 Saídas de emergência em edifícios," *ABNT*. p. 35, 2001.

## EVACUAÇÃO EM CASO DE INCÊNDIO DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES



**Flavia Nascimento**

\*\*\*\*\*

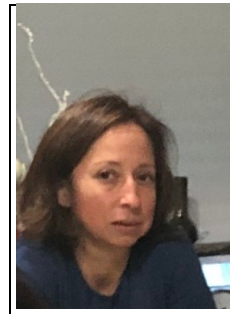
Investigadora  
UC - Coimbra



**João Paulo C.**

**Rodrigues**

Professor  
UC - Coimbra



**Cristina Calmeiro  
dos Santos**

Professora  
IPCB – Castelo  
Branco

### SUMÁRIO

A variedade de possíveis condições e características do ambiente pode resultar em padrões comportamentais diversos dos indivíduos numa situação em que ocorra a necessidade da evacuação da edificação. Uma evacuação segura e rápida, em qualquer situação, depende de um conjunto de fatores e variáveis que podem ser organizadas em categorias ligadas às características físicas e geométricas dos edifícios, a ações que ocorrem dentro do ambiente, aos fatores ambientais dentro da estrutura e pôr fim ao comportamento dos ocupantes. O tempo de evacuação está relacionado com esse conjunto de fatores que também são influenciados pelo próprio incêndio. Quando se trata de crianças e jovens em idade escolar, o comportamento difere se comparado aos adultos. As crianças variam em habilidades físicas e cognitivas e fatores como compreensão, capacidade de locomoção e maturidade são muito relevantes em uma necessidade de evacuação. Isso torna as crianças um grupo vulnerável perante a situação de incêndio. Existem modelos computacionais, já bem desenvolvidos, que simulam a evacuação em edificações. Este artigo tem como objetivo abordar as categorias de variáveis que influenciam na evacuação, apresentar estudos de casos de evacuação envolvendo crianças em edificações escolares e descrever alguns dos modelos computacionais que permitem simular a evacuação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Evacuação; Escolas; Modelos computacionais; Incêndio; Crianças

### 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 30 anos foram realizados estudos expressivos para se obter a compreensão do envolvimento e interação de pessoas com o incêndio. A literatura existente sugere que a idade é um fator crítico que afeta a dinâmica de evacuação, podendo dizer-se que a capacidade cognitiva das crianças, especialmente nas faixas etárias mais baixas, não equivale ao funcionamento cognitivo de um adulto, levando para a possibilidade de tomada de decisão imprevisível [1].

Durante a evacuação de um edifício, no caso de um acidente de incêndio, os ocupantes demonstram tempos de resposta variáveis (RTs) a partir do momento em que recebem um aviso e o momento em que decidem evacuar para um ponto de encontro. Vários fatores podem influenciar o tempo de resposta, nomeadamente a familiaridade dos ocupantes com o ambiente em que se encontram, conhecimento das rotas de evacuação, habilidades para operar instalações e aparelhos de proteção contra incêndio, densidade de pessoal no espaço e o estado físico e comportamento psicológico dos ocupantes.

Como os indivíduos variam conforme a idade em habilidades físicas e cognitivas, é apropriado que as crianças sejam consideradas um grupo vulnerável na sociedade com relação ao incêndio. Sendo assim o estudo e a

---

\*\*\*\*\* Flavia do Nascimento Vieira – Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Pólo II - Rua Luís Reis Santos  
3030-788 Coimbra, Portugal.  
email: flavianvieira@gmail.com      <http://www.meu.dep.pt>

modelagem da evacuação de emergência voltada para edificações escolares, onde se encontram indivíduos com perfis de idades diferentes, torna-se de elevada importância para a tomada de decisão e ações para a evacuação.

## **2. VARIÁVEIS QUE INFLUÊNCIAM NA EVACUAÇÃO DA EDIFICAÇÃO**

O tempo de evacuação é calculado a partir do momento de detecção até que o último ocupante evacuado atinja um local seguro e a sua determinação se dá pela conjugação do tipo de pessoas, com suas características físicas e psicológicas, e pelo tipo de ambiente. O tempo de evacuação de um edifício é fortemente influenciado pelo comportamento individual e coletivo dos ocupantes. O cálculo do tempo de evacuação é, também, função da capacidade de escoamento de uma saída/corredor considerando a sua largura e a velocidade de deslocamento de um número de pessoas.

O cálculo do tempo de evacuação em edifícios é o somatório de movimentos distintos até ao local seguro, são eles: movimento em percursos horizontais, como compartimentos e corredores, movimento descendente em rampas, movimento em vias verticais (escadas) e movimento em pontos de transição (passagem de portas e pontos de convergência e divergência de fluxos), onde o movimento em vias verticais e o movimento em pontos de transição são os que mais influenciam o tempo de evacuação [2].

Como foi apresentado, existem fatores e variáveis que influenciam o tempo de evacuação dos ocupantes de um edifício e [3] trata o assunto organizando essas variáveis em categorias para serem estudadas e aplicadas em uma simulação computacional de evacuação de ambiente. Essas categorias são: a configuração do edifício / recinto, procedimentos dentro do recinto, fatores ambientais dentro da estrutura e comportamento dos ocupantes.

### **2.1 Configuração do edifício**

Entende-se como configuração do edifício o que é na maioria dos casos coberto pelos códigos e normas, nomeadamente os layouts de edifícios, número de saídas, larguras de saída, distâncias de percurso etc. Através da configuração do edifício estuda-se a maneira como os ocupantes se movimentam ao longo dos seus diferentes componentes, tanto no movimento horizontal como no movimento vertical e as saídas para o exterior, as escadas e os elementos de transição são os componentes dos caminhos que podem condicionar todo o movimento de evacuação.

O movimento ao longo das circulações horizontais, geralmente, não condiciona o processo de evacuação de um edifício, pois é neste percurso que o movimento se processa com maior fluidez [4]. As vias verticais, se não forem convenientemente dimensionadas, podem limitar a capacidade de deslocação dos ocupantes. A evolução do movimento ao longo das vias verticais é, em muitos aspectos, semelhante à que se verifica nas vias horizontais. Quando ocorre um aumento da densidade o fluxo aumenta até atingir um valor máximo, para a partir daí decrescer. A velocidade do ocupante é afetada pelo número de etapas, o ângulo da escada, a profundidade do piso, a altura do degrau e a presença e localização dos corrimãos. A evacuação através de escada envolve um conjunto complexo de comportamentos, como descanso, verificação do caminho a ser percorrido e comunicação entre os envolvidos na evacuação [5].

A geometria da escada, quando existente, também é relevante para o movimento dos ocupantes. A eficácia da evacuação é afetada por fatores tais como o número e a localização de escadas nos edifícios, a sua geometria, o número de ocupantes por andar, o número de ocupantes descendo de um determinado local, e quaisquer obstáculos que os ocupantes possam encontrar durante a descida.

[6] fizeram ensaios em uma escola com alunos do ensino fundamental do quarto ao sexto ano com o objetivo de estudar os parâmetros de movimento das crianças em escadas. Os ensaios foram analisados em quatro cenários diferentes como é descrito a seguir: cenário 1: Alunos de diferentes andares descem as escadas em ordem; cenário 2: Os alunos sobem as escadas em ordem; cenário 3: Estudantes de diferentes andares descem pelas escadas livremente e por fim cenário 4: Os alunos sobem as escadas livremente. Verificou-se, como apresentado na figura 1, que as velocidades médias das crianças no primeiro andar são maiores que as do quarto e terceiro andar no cenário um e três. Os resultados experimentais também demonstraram que as velocidades ascendentes das crianças são mais altas que as velocidades descendentes.

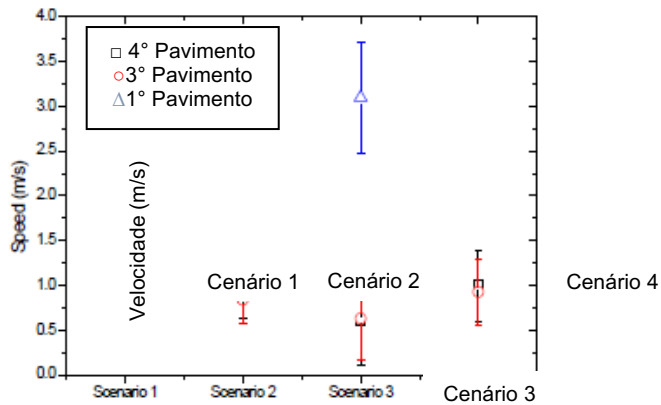


Figura 1: Velocidade média de crianças em diferentes cenários e diferentes patamares de escada.

No decorrer da evacuação, foi percebido um fenômeno típico em que as primeiras crianças se moviam mais rápido e à medida que entravam na escada, a velocidade diminuía devido ao aumento da densidade.

A relação entre densidade e fluxo ou velocidade quantifica a capacidade das instalações para pessoas e a classificação das rotas de evacuação. A Figura. 2 mostra a relação experimental entre densidade e velocidade de movimento infantil em diferentes cenários experimentais. Nos diagramas pode-se constatar que nos quatro cenários as velocidades das crianças diminuem com o aumento da densidade.

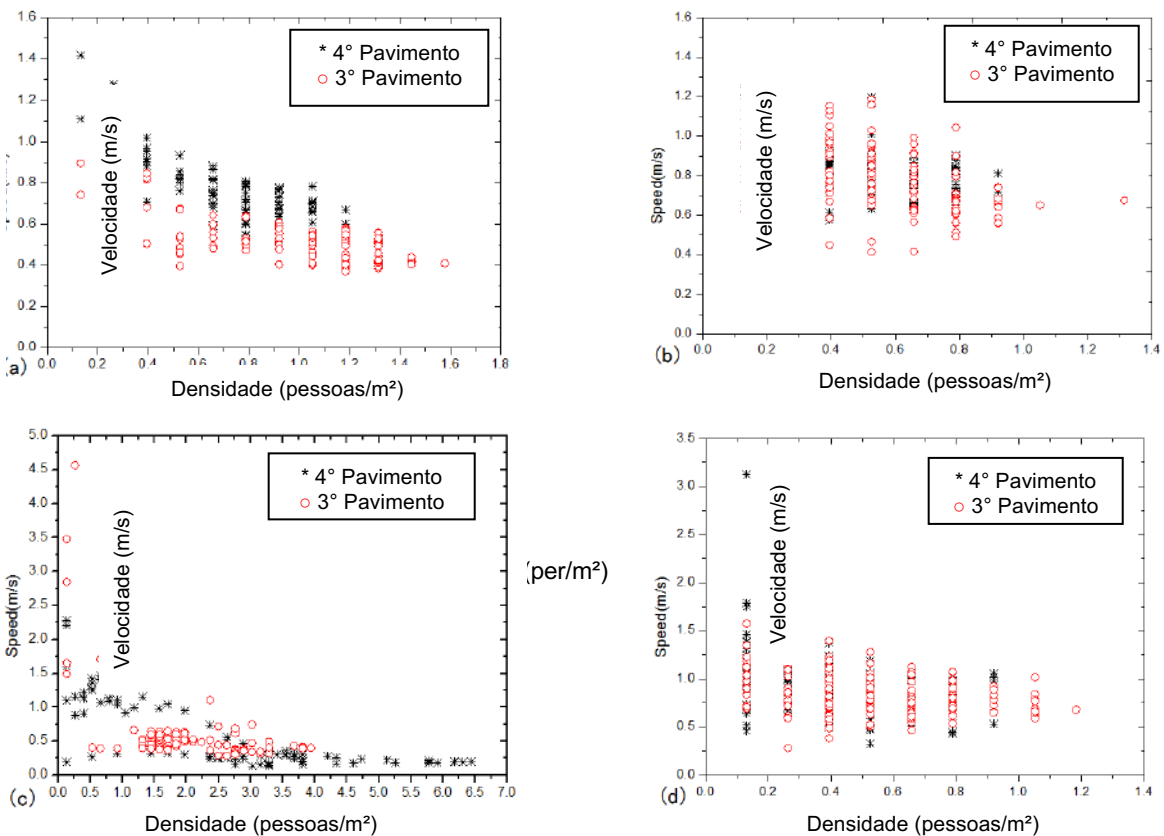


Figura 2: Diagramas fundamentais do movimento de crianças em patamares de escadas para diferentes cenários. (a) Cenário um; (b) Cenário dois; (c) Cenário três; (d) Cenário quatro

Comparando os cenários um e três, verifica-se que a densidade para o cenário três, onde os alunos de vários andares descem livremente pode chegar a 6,40 pessoas/m<sup>2</sup>, mas a densidade para o cenário um, onde os alunos descem as escadas em ordem, pode chegar a 1,58 pessoas/m<sup>2</sup>. Os resultados refletem o facto de que no processo de evacuação, a velocidade desejada da criança é grande e o congestionamento pode ser facilmente formado nas escadas, principalmente nos patamares onde dois fluxos de crianças se fundem.

## 2.2 Procedimentos dentro do Recinto

Os procedimentos dentro do recinto podem ser entendidos como o planeamento e estratégias a serem adotadas para a evacuação em determinados casos de emergência.

Em função da utilização do edifício e da sua altura no enquadramento do planeamento de emergência deverão seleccionar-se uma ou mais estratégias de evacuação para o edifício, garantindo, sempre as condições de sobrevivência humana. Qualquer estratégia de evacuação de um edifício com mais de um piso deverá, no mínimo, garantir a sequência representada no quadro 1 [7].

Quadro 1: Etapas na evacuação de edifícios.

<b>Etapas na evacuação de edifícios</b>	
<b>1. Saída do compartimento</b>	Os ocupantes deslocam-se horizontalmente para uma das saídas do compartimento em direção a uma via horizontal de evacuação ou outro compartimento adjacente que leve a uma saída de piso
<b>2. Saída do piso</b>	Os ocupantes ao sair dos seus respectivos compartimentos, deslocam-se horizontalmente até uma das saídas do piso (via vertical de evacuação)
<b>3. Saída vertical</b>	Os ocupantes devem seleccionar uma via vertical de evacuação, que pode ser uma escada, uma rampa ou até um elevador, e desce até atingir o piso de saída
<b>4. Saída no piso de referência</b>	Os ocupantes que atingem o piso de saída do edifício deslocam-se horizontalmente até o exterior do edifício.
<b>5. Saída para local seguro</b>	Os ocupantes deslocam-se horizontalmente até ao ponto de reunião, em local seguro, afastado do edifício

[7] subdivide as estratégias de evacuação em estratégias tradicionais de evacuação e novas estratégias de evacuação.

### 2.2.1 Estratégias tradicionais de evacuação

As estratégias tradicionais são aquelas em que a evacuação acontece simultaneamente em todos os compartimentos do edifício ou a evacuação é planeada por etapas (faseada) dos compartimentos do edifício ou de partes dele ("evacuação parcial") ou é feita a proteção no local.

No caso de evacuação simultânea, os estudos de [8], concluíram que os ocupantes mais prejudicados são os do piso de origem do incêndio e dos imediatamente adjacentes, uma vez que havendo ocupação intensa do interior das vias verticais de evacuação por ocupantes dos outros pisos a entrada dos ocupantes dos pisos de maior risco é mais difícil.

A evacuação faseada garante a saída de todos os ocupantes dos pisos ao longo de um período maior, dando prioridade aos ocupantes dos pisos de maior risco (o piso de incêndio e os adjacentes). Os restantes pisos apenas são evacuados caso se verifique essa necessidade. A evacuação parcial é focada na evacuação de áreas próximas do incêndio, entretanto, ela é eficaz quando o sistema de proteção contra o incêndio é capaz de assegurar que áreas distantes da evacuada estejam em segurança.

No entanto, a evacuação total consiste na evacuação de todo o edifício para o ponto de encontro ou para uma zona de refúgio. Visto que, a evacuação total é quase sempre muito difícil devido a fatores como amplitude do edifício e/ou grande número de ocupantes, recorre-se à evacuação em fases. Esta consiste na evacuação, primeiro, dos compartimentos perto de incêndio, o que de certo modo torna-a convergente com a parcial, porque os dois tipos de evacuação acabam por priorizar os compartimentos próximos do incêndio.

A utilização da proteção no local é recomendada quando parte significativa do efetivo do edifício é composto por pessoas de mobilidade condicionada como unidades de saúde, lares e estabelecimentos prisionais e em locais

com maior dificuldade de evacuação, precisando em algumas situações, ser complementada pela evacuação parcial.

### 2.2.2 Novas estratégias de evacuação

Inicialmente, a altura dos edifícios não exigia percorrer longos percursos de evacuação, de tal forma que inicialmente apenas se previa a construção de um conjunto de escadas. A invenção em 1854 do freio de segurança permitiu a utilização segura do elevador em edifícios de grande altura, facilitando a construção, manutenção e exploração de edifícios de grande altura, pela primeira vez em Chicago, em 1885.

No Reino Unido, a BS 5588-8:1999 define que os edifícios deverão ter, pelo menos, um caminho de evacuação para pessoas com deficiência, permitindo, que os elevadores sejam utilizados por essas pessoas para deslocamento para zonas de refúgio, até à chegada dos meios de socorro, exigindo-se, a tais elevadores, condições específicas de estanqueidade e resistência ao fogo. Hong Kong, China e Japão, utilizam metodologias baseadas em métodos britânicos, embora com abordagens mais prescritivas (Ono, 2010)

Na edição de 2009, o Código Internacional de Construção, NFPA 101 e NFPA 5000 recomendam a existência de elevadores de serviço de incêndio em todos os novos edifícios, com altura superior a 37 metros de altura [7]. Este código autoriza ainda a redução da capacidade de saída das vias verticais de evacuação em 50% em edifícios que preveem o uso de elevadores por pelo menos 50% da população dos pisos que os elevadores de emergência servem. Estes elevadores devem ter acesso direto a uma zona de refúgio ao nível do piso de referência, com uma área que permita acomodar, pelo menos, 25% dos ocupantes. Obriga, ainda, a que os elevadores estejam devidamente avisados, com mensagens do tipo: "Elevadores disponíveis para evacuação dos ocupantes".

### 2.3 Fatores ambientais dentro da estrutura

Existem elementos que podem ser alocados no ambiente que favorecem a evacuação, destacando-se: o sistema de detecção de incêndio, a sinalização de emergência, iluminação de emergência e o sistema de exaustão, ventilação do ambiente.

Os meios de detecção e alarme de incêndio e a sua confiabilidade influenciam na dinâmica da evacuação. As variações na qualidade/tom da voz, velocidade, volume e forma de transmissão, assim como do conteúdo da mensagem interferem na resposta dos ocupantes.

Na detecção por sistema de alarme e alerta (como por um detetor de fumo com alarme sonoro) [9] definiu que o sinal tem de ser perceptível ao ouvido humano e capaz de acordar um indivíduo. É importante atentar para o facto de o som de alerta poder ser atenuado pelos materiais constituintes do edifício como paredes, tetos em 50dB(A), portas em 15dB(A) e objetos existentes no meio de transmissão e da probabilidade de o alarme sonoro poder ser confundido com os sons residuais dos equipamentos domésticos (como ar-condicionado) ainda que essa confusão seja residual quando os ocupantes atuam em grupo [10].

A existência e eficácia da sinalização de emergência pode ajudar a orientar os ocupantes a encontrarem as saídas de emergência, bem como a iluminação de emergência é primordial para além de orientar, conter o pânico gerado nessas situações.

A ventilação do ambiente, seja de forma natural ou exaustão mecânica, é importante para a dispersão de fumos presentes na área que podem tornar sem visibilidade o caminho de evacuação.

### 2.4 Comportamento dos ocupantes

Os seres humanos ou aprendem ou são feitos para aprender. Eles tendem a obter compreensão através de dois métodos, seja através do ensino ou através das suas próprias experiências pessoais. Devido à falta de conhecimento ou experiências sobre o gerenciamento de desastres, quando enfrentam um caso real, geralmente tendem a ceder à reação de fuga e a ficar agitados, criando situações de pânico. Todos tentam sair da zona de risco o mais rápido possível, o que significa que as saídas limitadas disponíveis ficam lotadas e essa resposta restringe a evacuação adequada.

Apesar de existirem modelos bem definidos que descrevem como esses componentes interagem em alguns cenários, quando falamos de crianças esses componentes interagem de formas distintas.

O [11] mostrou que em turmas de alunos de 0-2 anos de idade apenas 20% das crianças apresentaram comportamento similar ao de um adulto, 58% das crianças precisaram de intervenção direta do professor para iniciar ou continuar o processo de evacuação, essas crianças não entendiam o que estava acontecendo ou precisavam de alguma ajuda física para sair da sala de aula. Por último, 22% das crianças não tinham a mínima condição de evacuar a sala sozinhas e precisavam de ser carregadas por um adulto. Em casos de alunos na faixa 3-6 anos o comportamento das crianças aproximou-se mais do comportamento de um adulto, onde apenas 10% das crianças precisaram de assistência e 5% precisaram ser carregadas. Para representar esses níveis de dependência foram modelados três tipos de agentes, um para cada nível de dependência.

### 3. EVACUAÇÃO EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES

Não há muitos estudos que abordam a evacuação de crianças em idade pré-escolar. A capacidade de autopreservação de crianças em idade pré-escolar foi estudada por [12], que realizaram um questionário internacional entre professores de creches e especialistas em desenvolvimento infantil. O limite mínimo de idade para crianças em idade pré-escolar serem capazes de compreender e seguir instruções simples foi declarado entre 2,5 - 3 anos de idade. Outro estudo da Universidade Técnica da Dinamarca investigou variáveis relacionadas com a capacidade de locomoção de crianças de 3 a 6 anos durante exercícios de evacuação em creches [11]. Os estudos concentraram-se em medir a velocidade de deslocamento em escadas e em planos horizontais, o fluxo pelas portas e as densidades e monitorizar considerações comportamentais, como a necessidade de auxílio de equipe.

Outra investigação sobre o comportamento de evacuação de crianças em idade pré-escolar fez parte de um estudo realizado no Japão [13]. Este estudo tratou do procedimento de evacuação em duas creches atendidas por crianças de 0 a 5 anos durante exercícios regulares de evacuação anunciados. Os resultados consistiram em taxas de fluxo nas saídas das salas de aula e velocidades de deslocamento em certas partes das rotas de fuga horizontais e verticais.

Dados recolhidos por [14] sobre a evacuação de crianças de 4 a 10 anos indicam que as crianças menores (4-5 anos) precisaram de mais tempo para iniciar a evacuação do que as crianças mais velhas. Isso é consistente com [15] que encontraram uma variância significativa no tempo de pré-evacuação entre crianças de 3 a 4 anos (média de 46 segundos) e crianças de 5 a 6 anos (média de 20 segundos).

[16] sugere que a idade é um fator no tempo de pré-evacuação, com médias de 222 segundos e 114 segundos para crianças de 0-2 e 3-6 anos, respectivamente. Num estudo do mesmo autor concluiu-se que a presença de um sistema de alerta de alarme de incêndio diminuiu o tempo de pré-evacuação.

[17] realizaram exercícios de evacuação em 12 escolas durante o ano letivo de 2015/2016, sendo três exercícios em cada uma das quatro escolas estudadas. A primeira evacuação em cada escola foi anunciada, com funcionários e crianças sabendo do cenário com antecedência. Os exercícios subsequentes em cada escola foram cenários totalmente sem aviso prévio, com apenas o Diretor ciente da evacuação com antecedência. Isso foi considerado importante para garantir a fidelidade dos resultados em relação a um cenário da vida real. A motivação para a evacuação foi o sistema de detecção e alarme de incêndio ou sirene de evacuação central. Após análise, as tendências foram evidentes nos dados recolhidos onde as classes de bebês, com idades até os 6 anos demoraram mais para começar a evacuação e isso é consistente com a literatura, onde a idade foi sugerida como fator de influência no tempo de pré-evacuação.

Quadro 2: Tempos médios de pré-evacuação comparação entre [17] e [18]

	Faixa etária	Tempo médio de pré evacuação (s)
<b>Glenn N. et al</b>	4-12	18,5
<b>Cuesta e Gwynne</b>	6-12	21,8

Os resultados sugerem melhor desempenho pela repetição dos exercícios e isso foi surpreendente dada a natureza não anunciada dos exercícios 2 e 3. Isto é representado na figura 3 e pode ser atribuído ao efeito de treinamento de exercícios repetidos [15].

Com os resultados obtidos a partir dos exercícios, [17], concluiu que a idade é um fator de grande importância nos tempos de pré- evacuação nas escolas até aos 6 anos de idade e que o treino e a preparação reduzem os tempos de pré- evacuação. Uma pequena redução no tempo de pré- evacuação foi encontrada quando a proporção de alunos (crianças) para adultos foi menor.

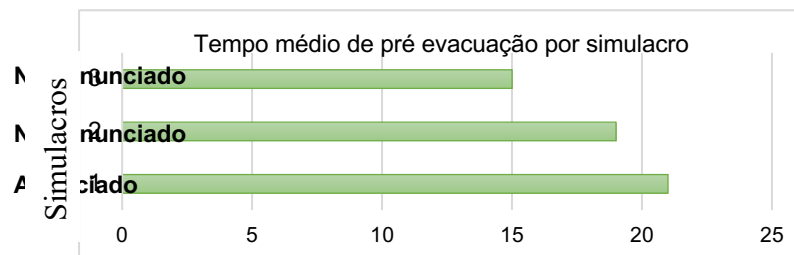


Figura 3: Tempo médio de pré- evacuação por simulacro

#### 4. EXERCÍCIOS DE SIMULADO

Os exercícios para simular uma evacuação são de grande importância para o conhecimento das principais variáveis e parâmetros envolvidos, como os tempos totais de evacuação, os tempos de pré- evacuação e as velocidades de deslocamento nas rotas de fuga horizontais e verticais. Estas são as variáveis mais amplamente utilizadas para cálculos de evacuação em projetos de segurança contra incêndio [15].

Quando se trata de evacuação de crianças, nomeadamente, numa utilização tipo escolar, esses simulacros tornam-se ainda mais necessários pois como já foi apresentado nesse artigo, existe grande diferença de comportamento entre as diversas faixas etárias dos ocupantes e prever esse comportamento diante de uma situação real de evacuação, até para alimentar com dados mais precisos nos modelos de cálculo e modelos computacionais, só é alcançado com exercícios simulando um evento na realidade.

Para o simulacro são determinados a utilização tipo da edificação e escolhidos cenários e situações que podem ocorrer num evento real e que são importantes para a avaliação dos parâmetros de evacuação. São previstos também a planificação e estratégias de evacuação para cada cenário a estudar, bem como a forma de aviso, alarme a ser usado para o início da evacuação. Ainda se pode determinar se o simulacro será realizado com o conhecimento dos envolvidos, as pessoas sabendo que é um simulacro ou de forma não anunciada, onde as pessoas pensam que de facto está ocorrendo uma emergência.

Para a observação do evento pode-se colocar câmaras, em pontos estratégicos que vão registrar a movimentação dos indivíduos envolvidos.

A partir do simulacro é possível obter-se informação sobre evacuação e parâmetros de viagem, como: resultados do tempo de pré- evacuação, fluxo através das portas, padrão dos movimentos horizontais e movimentos nas escadas, velocidades de deslocamento em todo o percurso de evacuação e ainda parâmetros comportamentais dos indivíduos envolvidos.

Os dados obtidos nos exercícios de simulacro vão alimentar os modelos de cálculo e modelos computacionais existentes ou ainda permitir a criação de modelos específicos para determinados grupos, como por exemplo um modelo específico para o estudo da evacuação em edificações escolares com indivíduos de diferentes faixas etárias.

#### 5. MODELOS COMPUTACIONAIS PARA SIMULACRO DE EVACUAÇÃO

Os modelos computacionais de evacuação são ferramentas de uso crescente da engenharia de segurança contra incêndio [7]. Segundo [19], os modelos de evacuação podem ser categorizados em modelo de movimento, de comportamento parcial e comportamental. Os modelos de movimento simulam o deslocamento do ocupante de um ponto no interior da edificação para uma saída ou área segura. No modelo parcial já é possível simular comportamentos pouco complexos como o de ultrapassagem. Os modelos comportamentais podem incorporar a tomada de decisão ou ações desempenhadas devido às condições ambientais.

Os modelos computacionais têm sido utilizados, em nível mundial, para estimar o tempo de evacuação e simular o crescimento de um incêndio em edificações. Assim, tais modelos servem tanto para avaliar projetos existentes ou analisar catástrofes que levaram a múltiplas mortes, como para estudar novos projetos de elevada complexidade.

Diversos investigadores concluíram que a utilização de programas computacionais para a simulação de evacuação é de grande importância para identificar soluções aceitáveis de segurança contra incêndio em situações diversas, nomeadamente Fire Dynamics Simulator (FDS) + Evac, Pathfinder e BuildingExodus, entre outros.

O modelo FDS + Evac trata cada indivíduo a evacuar como uma entidade separada, ou um 'agente', que tem suas próprias propriedades pessoais e estratégias de fuga. O movimento dos agentes é simulado usando planos bidimensionais que representam os andares dos edifícios. O algoritmo básico por trás do movimento de saída resolve uma equação de movimento para cada agente em um contínuo 2D, espaço e tempo. O módulo de evacuação está embutido no FDS. Assim, o funcionamento da simulação de evacuação no FDS + Evac é feita de forma semelhante a uma simulação FDS de incêndio comum. Os recursos pretendidos não estão totalmente funcionais. Por enquanto, FDS + Evac é mais adequado para fazer cálculos em edifícios cujos pisos são principalmente horizontais. Salas de desportos com arquibancadas ou salas de concerto também podem ser modeladas se a sua geometria não for muito complicada, mas as simulações em geometrias inclinadas ainda não foram validadas. A coleta de dados é feita por meio da técnica de vídeo gráfica. A figura 4 mostra um instante do vídeo de uma sala de aula simulada no FDS+EVAC.

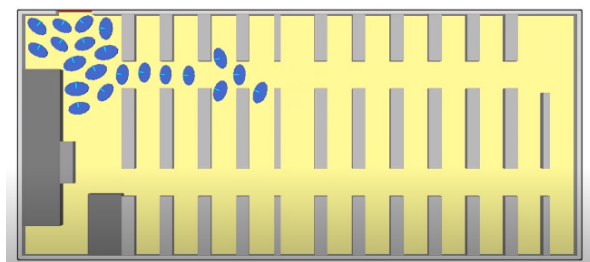


Figura 4: Formato visual do modelo de evacuação para sala de aula do FDS+Evac

O Pathfinder é um modelo de evacuação baseado em agentes que utilizam duas maneiras para modelar o movimento dos ocupantes: SFPE e Steering. No modo SFPE, os ocupantes se movem entre os ambientes através de filas e não tentam evitar um ao outro. As portas funcionam como o principal controle de fluxo e a velocidade é influenciada pela densidade de cada setor, já o modelo Steering se baseia na metodologia de comportamentos de direção desenvolvida por [20] e refinada por [21], permitindo uma análise mais complexa alinhada com uma representação dos processos humanos, no qual surgem os congestionamentos. Os resultados são apresentados de forma qualitativa e quantitativa através da disponibilização de dados de tempo de evacuação, taxas de fluxo e da representação visual da densidade populacional no tempo durante o processo de evacuação. Conforme [22], o ambiente de circulação é uma malha 3D triangulada concebida para corresponder às dimensões reais da construção modelada. Essa malha de circulação pode ser introduzida automaticamente com base em dados importados. Os ocupantes são modelados como cilindros na posição vertical e os seus movimentos são calculados de forma independente, a partir de um conjunto de parâmetros de entrada.

O modelo de evacuação building EXODUS tem o objetivo de permitir a seleção dos caminhos de evacuação disponíveis, quando as outras ficam obstruídas pelo fumo. Nesse modelo permite fazer-se a introdução de dados como a familiaridade das pessoas com o edifício, comportamento quando enfrentam ambientes com fumo e o género dos ocupantes. As funcionalidades propostas foram baseadas unicamente em dados de sinistros em edifícios de habitação, pelo que será necessário cuidar a sua utilização em outro tipo de situações. Em [23] são implementados novos aspectos de comportamento social, onde divide-se o comportamento social a que os ocupantes estão sujeitos durante o processo de evacuação em três etapas: formação, comunicação e adaptação. A adopção de aspectos comportamentais tem a pretensão de simular os indivíduos como estando integrados num meio social que lhes proporciona acesso à informação relevante que é utilizada na tomada de decisão. A figura 4 mostra a visualização das representações tridimensionais animadas de simulações geradas pelo building EXODUS.

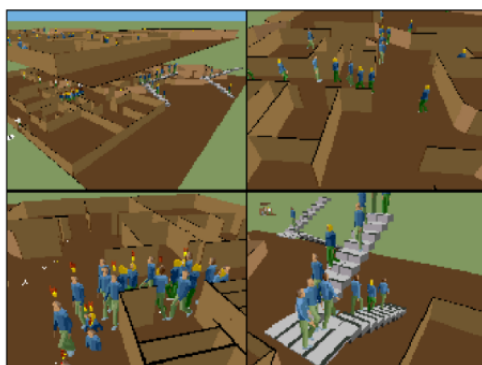


Figura 5: Formato visual das soluções apresentadas pelo building EXODUS

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem fatores e variáveis que condicionam o tempo de evacuação e elas estão relacionadas com as características físicas e ambientais da edificação, bem como com as condicionantes comportamentais dos indivíduos que a ocupam.

As características do ocupante e as características da escada são dois elementos que afetam a velocidade de caminhada nas escadas. Existem vários fatores que afetam o comportamento das pessoas e as diferenças na velocidade média de caminhada nas escadas, tanto para cima quanto para baixo.

A evacuação em edificações escolares difere de outras ocupações não apenas porque as crianças têm habilidades de movimento limitadas, mas também têm um nível reduzido de independência e capacidade de tomada de decisão resultante de seu estágio de desenvolvimento psicológico. Essas diferenças estão ligadas a uma necessidade crescente de um procedimento de evacuação organizado. As crianças são muito dependentes dos adultos para iniciar e realizar uma evacuação onde as mais novas precisam de mais assistência em ambas as fases.

Numa situação de evacuação sem organização, as crianças tendem a ter velocidade maior no movimento e com isso ocasionar o congestionamento ao longo da escada, principalmente nos patamares, onde os fluxos de crianças se fundem. Os diagramas fundamentais de crianças em patamares de escada, apresentados na figura 2, a, b, c e d, mostram que há a tendência de diminuição da velocidade com o aumento da densidade. Além disso, a densidade de crianças em escadas durante a evacuação pode chegar a 6,40 per/m<sup>2</sup>, o que aumenta a possibilidade de debandada de crianças nas escadas.

Ao discutir a evacuação de crianças, é necessário fazer uma distinção clara entre as diferentes faixas etárias, pois os padrões de caminhada das crianças pequenas podem diferir não apenas dos adultos, mas também das crianças mais velhas. A evacuação de crianças não pode ser descrita usando modelos de evacuação usados para adultos. As crianças pequenas são mais lentas que os adultos e a velocidade de deslocamento aumentam com idade.

Poucos trabalhos tentaram abordar a evacuação de crianças em contexto escolar. O estudo de alguns casos mostrou que atributos como velocidade, nível de obediência e instinto de autopreservação são diferentes do que se espera para adultos. Alguns trabalhos tentaram incorporar esses dados e criar modelos de simulação mais adequados para esses contextos, porém não se tem um modelo específico para edificações escolares.

Mais experiências, nomeadamente exercícios de simulacro, em diferentes edifícios escolares, com crianças de diferentes faixas de idade, são necessários para uma melhor compreensão do padrão e comportamento de evacuação das crianças com o objetivo de desenvolver futuros modelos de evacuação.

As crianças têm capacidades limitadas para se auto protegerem e conseqüentemente dificuldade em iniciar uma evacuação, e isso deve ser compensado pela assistência física e psicológica prestada por funcionários e/ou professores responsáveis durante o processo de evacuação, no caso de edificação escolar. Para uma melhor compreensão dessa questão, investigações adicionais sobre os padrões de comportamento das crianças e suas interações com o pessoal de supervisão responsável devem ser realizadas no futuro.

## REFERÊNCIAS

- [1] Hamilton G. N., O'Raw J., Lennon P. - Toward fire safe schools: Investigation and analysis of pre-evacuation times, 2018.
- [2] Coelho, A. L. "Proposta de Uma Nova Metodologia de Abordagem à Segurança ao Incêndio em Portugal". Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Programa de Investigação - Edifícios, Lisboa, 2006.
- [3] Gwynne S. , Galea E. R. , M. Owen, P. J. Lawrence, L. Filippidis - A review of the methodologies used in evacuation modelling, 2000.
- [4] Predtechenskii VM, Milinskii AI. Planning for foot traffic flow in buildings. Moscow, 1969; Berlin, 1971; Koln, 1971; Prague, 1972; U.S., New Delhi, 1978. Moscow, 1979.
- [5] G. Proulx - "Movement of People: The Evacuation Timing," Society of Fire Protection Engineers Handbook, vol. 3rd Edition, pp. 342–366, 2002.
- [6] ZM Fang, LX Jiang, XL Li, W Qi, LZ Chen - Experimental Study on Children Movement in Stairwell of a Teaching Building, 2015.
- [7] Ono, R.; Vitorino, F. Desempenho da Largura das Portas no Tempo de Abandono de Compartimentos. In: Encontro Nacional de Tecnologia de Ambiente Construído, 13., Canela, 2010. Anais... Canela: UFRS, ENTAC, 2010.
- [8] Pauls, J. L.; Jones, B.K. "Building Evacuation: Research Methods and Case Studies". In: Fires and Human Behaviour, Nova Iorque, 1980.
- [9] Kahn, M.J. - "Detection Times to Fire-Related Stimuli by Sleeping Subjects," NBS-GCR-83-435, National Bureau of Standards, Washington, DC, 1983.
- [10] Proulx., G. - "Movement of People: The Evacuation Timing ". In SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed., NFPA, Quincy, MA, 2002.
- [11] Larusdottir A.R., Dederichs A.S., A Step Towards Including Children's Evacuation Parameters and Behavior in Fire Safe Building Design, Fire Saf. Sci. 10 187–195, 2011.
- [12] Taciuc and A. S. Dederichs, Determining Self-Preservation Capability in Pre-school Children, The Fire Protection Research Foundation, Technical note Final Report, 2013.
- [13] Takizawa K. et al., A study for evacuation behavior characteristic of nursery school children and evacuation planning (Part1): The survey of evacuation speed, in Technical papers of annual meeting, pp. 347–350, 2013.
- [14] Capote J.A., Alvear D., Abreu O., Cuesta A., Hernando J., "Children Evacuation: Empirical data and egress modelling," in Human Behaviour in Fire Symposium, Cambridge, UK, 2012.
- [15] Najmanová, H. and Ronchi, E. 'An Experimental Data-Set on Pre-school Children Evacuation', Fire Technology, pp. 1-25, 2017.
- [16] Larusdottir A.R., Dederichs A. and Nilsson, D. Evacuation of Children: Focusing on daycare centers and elementary schools. Ph.D. , Technical University of Denmark. 2013.
- [17] Glenn N.H., Patrick L. and John O.R. Toward fire safe schools: Investigation and analysis of pre-evacuation times. 2018.
- [18] Cuesta A., Ronchi E., Gwynne S.M.V., Kinsey M.J., Hunt A.L.E., Alvear D., School egress data: comparing the configuration and validation of five egress modelling tools, Fire and Materials 41 535-554, 2017.
- [19] Valentin, M. V. Saídas de Emergência em Edifícios Escolares. São Paulo, 2008. 362 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008
- [20] Reynold, C. W. Steering Behaviors for Autonomous Characters. In: PROCEEDINGS of the Game Developers Conference, 1999. Miller Freeman Game Group, San Francisco, 1999.
- [21] Amor, H. B.; MURRAY, J.; OBST, O. Fast, Neat and Under Control: inverse steering behaviors for physical autonomous agents. In: RABIN, S. Ai Game Programming Wisdom 3. Charles River Media Publisher, 2006.
- [22] Muniz, R. M. D. O Uso de Simuladores Como Uma Ferramenta de Auxílio na Definição dos Requisitos De planos de Retirada de Emergência: estudo de caso em um centro de pesquisas de uma instituição pública

de ensino superior. Rio de Janeiro, 2013. 239 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

- [23] Gwynne, S., Galea, E. R., Lawrence, P. J.. "The Introduction of Social Adaptation within Evacuation Modelling". *Fires and Materials*, Vol. 30, Issue 4, pp. 285-309, 2006.

# EVACUAÇÃO EM EDIFÍCIOS ALTOS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO NA ÓTICA DA ARQUITETURA



**Lilian Cristina  
Ciconello**  
Doutoranda  
UC - Coimbra



**João Paulo Correia  
Rodrigues**  
Professor  
UC - Coimbra

## SUMÁRIO

Diversos aspectos da Segurança ao Incêndio foram beneficiados a partir do século XX, pela aplicação de conceitos urbanísticos modernistas tais como: afastamento entre edifícios, alargamento das vias de locomoção, preocupações com a mobilidade e planejamento de ocupação, porém a dinâmica socioeconômica global continua a gerar intenso adensamento humano nas cidades. Neste contexto, os projetistas encontraram oportunidade para idealizar arranha-céus que outrora passavam apenas por manifestações futuristas, viabilizados pelo desenvolvimento tecnológico e construtivo e somados aos vultuosos investimentos oriundos das economias emergentes do século XXI, que num desafio de forças competidoras e no intuito de gerar impacto [1], financiam a construção de empreendimentos com alturas sem precedentes, porém carregam o questionamento da real conexão com a escala humana.

**PALAVRAS-CHAVE:** evacuação; edifícios altos, incêndio, circulação vertical; arquitetura contemporânea.

## 1. INTRODUÇÃO

Recente análise comparativa foi publicada pelo Council of Tall Buildings and Urban Habitat, pontuando as projeções geradas em 2012 para o ano de 2020 e o cenário atual. Decorridos 8 anos os números revelam que as expectativas foram além do esperado [2], como demonstra o Quadro 1, mesmo diante do cenário econômico-financeiro incerto a nível global.

Quadro 3: Os 10 edifícios mais altos na atualidade (2020)

Nomenclatura	Alt (m)	Pav.	Finalidade uso	País
Burj Khalifa	828	163	escritórios /resid/hotel	Dubai
Shangai Tower	632	128	escritórios/hotel	China
Makkah Royal Clock Tower	601	120	outros/hotel	Arábia Saudita
Ping An Finance Center	599.1	115	escritórios	China
Lotte World Center	554.5	123	esc/hot/resid/com	Coréia Sul
One World Trade Center	541.3	94	Escritórios	Estados Unidos
Guangzhou CTF Finance Center	530	111	escritórios /resid/hotel	China
Tianjin CTF Finance Center	530	97	esc/hot/resid/com	China
CITIC Tower	527.7	109	escritórios	China
Taipei 101	508	101	escritórios	China

A altura das torres é contundente, independentemente de seu tipo de ocupação e uso, e os números continuam voltados para o alto como é o caso da Jeddah Tower, na Arábia Saudita, com término de execução previsto para 2024, cujo escopo prevê 1.000 m de altura em seus 200 pavimentos.

Em busca de bases fundamentadas no conhecimento, foi realizada revisão bibliográfica em artigos e teses que abordam a evacuação, segurança ao incêndio em edifícios altos, projetos e as temáticas relacionadas ao comportamento humano, tanto no uso normal da edificação quanto em situações de pânico, bem como as análises da percepção humana frente aos edifícios de grande altura. Para exemplificar questões da arquitetura interna, foram apresentadas plantas do pavimento tipo de alguns edifícios altos e demonstrada a planta baixa do pavimento-tipo de um arranha-céu, considerando 2 formatos básicos de lay-outs: com e sem divisórias internas. A análise gráfica independe da altura das divisórias das estações de trabalho, ou seja, são indiferentes como elementos de compartimentação, podendo ter altura do pé-direito total ou meia-altura ou até mesmo espaços laborais livres, sem divisórias, soluções bastante usuais em ambientes corporativos.

## **2. OS ARRANHA-CÉUS CONTEMPORÂNEOS**

As análises sobre a segurança contra incêndio em edifícios altos apoiam-se em dois patamares fundamentais: o desempenho da construção e a evacuação. A observância desses pilares reflete-se em outras duas variáveis referentes ao tempo de resposta: enquanto o prognóstico do desempenho é dado em horas, a evacuação demanda decisivos minutos [3], o que reforça o nível de interferência do projeto arquitetural ao definir as circulações tanto vertical quanto horizontal do edifício, além da geometria e os sistemas construtivos adotados. Paralelamente ao desenvolvimento tecnológico e adensamento das cidades, as regras prescritivas abrangem pontos críticos na média das edificações construídas ou reformadas, porém tais premissas tornam-se inaplicáveis em projetos que se apresentam como exceções, como no caso dos arranha-céus. A despeito dos designers irem além dos códigos construtivos para projetarem edifícios altos, os estudos estão centrados na geometria, materiais, estrutura e ação dos ventos, sismos, estética das fachadas e eficiência energética [4] que normalmente compõem pré-requisitos essenciais. As questões relacionadas à circulação vertical e horizontal são evidentemente relacionadas à eficiência em condições normais de uso, claramente pelo efetivo numeroso a ocupar o edifício.

Evidentemente que as preocupações voltadas ao comportamento das estruturas no que concerne ao risco de colapso, a compartimentação horizontal e controle da propagação promoveram o desenvolvimento de produtos, soluções e sistemas tecnológicos que superam as exigências das regulamentações prescritivas, principalmente em países onde os arranha-céus têm sido erigidos. Há exemplos como o projeto da Jeddah Tower, onde espaços preciosos da torre foram consumidos em função da complexa segurança adotada. Além de paredes que evitam a propagação de pequenos incêndios, o sistema elétrico é refrigerado em sua maior parte e as galerias de contenção são responsáveis por ocupar zonas comercializáveis do projeto. Essas galerias possuem sistemas de eletricidade e hidráulicos próprios, e infraestrutura de comunicação e enfermaria. Todas suportam temperaturas consideráveis provenientes de incêndios menores até grandes temperaturas em algumas horas. O objetivo é conter um grande efetivo de pessoas enquanto outras são evacuadas a fim de evitar o caos no momento em que todos acessassem os elevadores ao mesmo tempo em busca da saída.

São reconhecidas em diversas ocorrências de incêndios em edifícios altos a necessidade de atenção à causa da evasão e salvamento dos ocupantes e tornaram-se bastante evidentes no atentado terrorista ao World Trade Center, ocorrido em 2001, em Nova York, dados que os inúmeros trabalhos de investigação após a tragédia apontaram para significativo nível de dificuldade encontrada por muitas vítimas para tentar deixar as torres e salvarem-se, incluindo as próprias equipes de resgate [5]. Mesmo com o aumento real do efetivo nas torres, no momento de emergência foram identificadas debilidades. Um dos fatores conclusivos é que as orientações em relação à largura de escadas e segurança de elevadores de emergência não correspondem à necessidade imediata do usuário quando este encontra-se em situação de risco em um edifício ultra-alto.

### 3. EVACUAÇÃO E COMPORTAMENTO

#### 3.1 Circulação horizontal e vertical – análises diversas

Diversos softwares aplicados por projetistas operam através da otimização da circulação do edifício, em função de diminuição de rotas, aproveitamento de área útil, funcionalidade e qualidade do ambiente, considerando-se condições normais de uso. Modelos hidráulicos para cálculo utilizam princípios como decisões uniformes, capacidades semelhantes, que a densidade é uniforme e os trajetos são sempre pré-definidos e uniformemente direcionais (elevada densidade). A densidade baixa considera que ocupantes são independentes, a velocidade de deslocamento é constante e as diferenças de estado são equivalentes a elementos em estados gasosos – relacionados e comparados a níveis de energia distintos. Já os modelos em arco demonstram a importância do tamanho dos vãos a serem atravessados, porém as situações são potencialmente mais críticas nos deslocamentos verticais [6]. Na situação de emergência o uso de algoritmos tem criado cenários diversos para o estudo da evacuação, incluindo a possibilidade de alterar o direcionamento das ações a serem tomadas em função das ocorrências no ambiente, já que o sucesso da operação de abandono de uma edificação depende de fatores básicos como densidade, velocidade e fluxo do efetivo. Também há outros aspectos que afetam o deslocamento de pessoas no interior do edifício tais como o posicionamento das escadas, a geometria dos degraus, a familiaridade ou não com o ambiente, a existência de obstáculos ao longo do percurso, incluindo fumos e gases tóxicos [7].

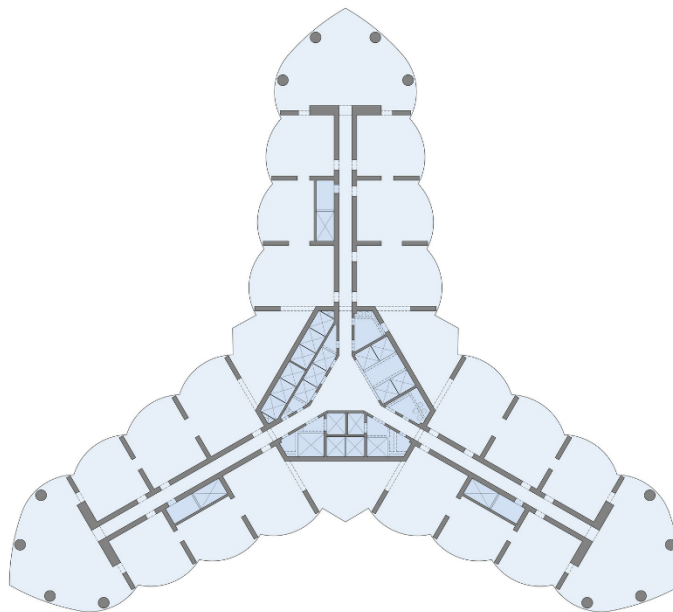


Figura 1: Planta tipo -Edifício Burj Khalifa

Os traçados e o design de edifícios de grande altura desafiam a engenharia, criando verdadeiras esculturas, porém impreterivelmente determinam a centralização das zonas de circulação vertical, realizadas em sua maioria por robustos sistemas de elevadores – possíveis de serem visualizados nas figuras 1 e 2. Apesar de a segurança contra incêndio estar distribuída entre escadas, elevadores de emergência e áreas de refúgio, é possível identificar circulações horizontais com percursos relativamente longos, em alguns casos retilíneos, já em outros circulares - percursos estes nem sempre prontamente assimilados pelos ocupantes.

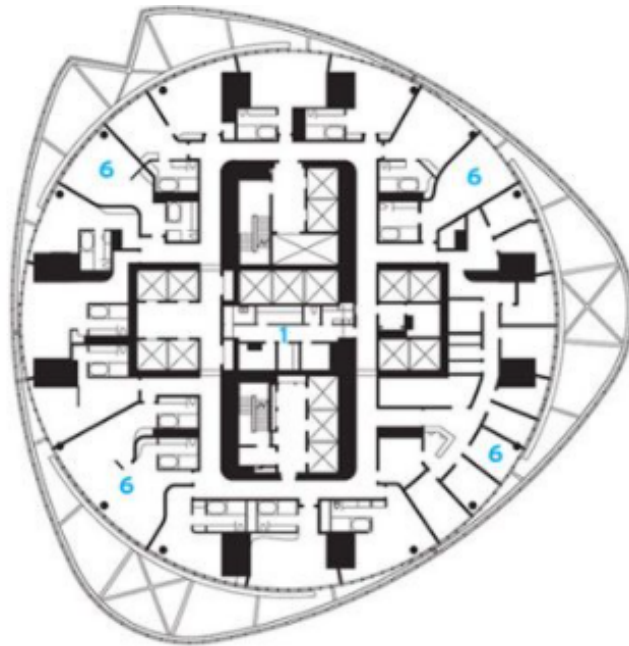
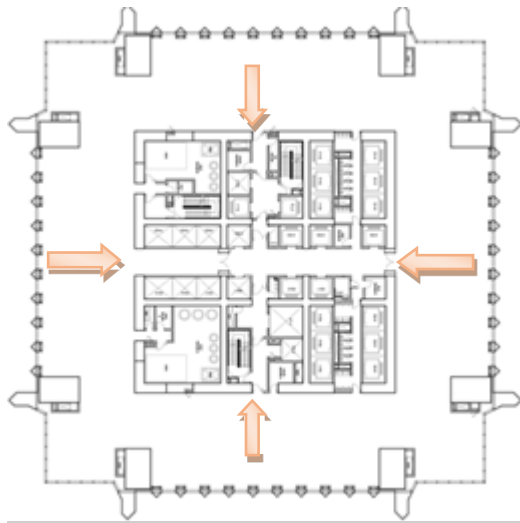


Figura 2: Shanghai Tower– 98.o pavimento

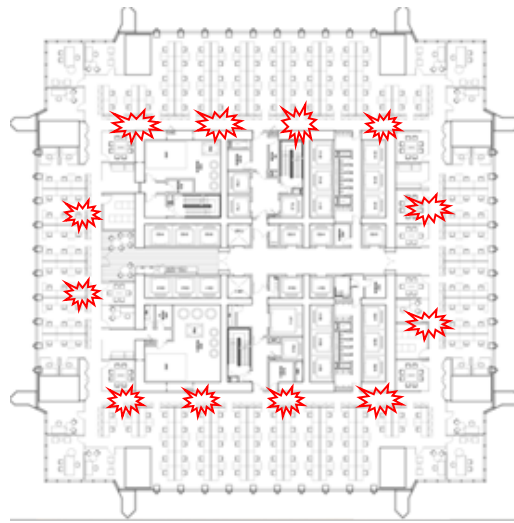
### 3.1.1 Limitações espaciais

O lay-out da ocupação impacta significativamente o fluxo e a direção de escoamento do efetivo, além das relações espaciais e de percepção, e por fim há o incremento de carga de materiais potencialmente combustíveis como mobiliário, papéis, revestimentos, instalações de ar-condicionado, equipamentos, cabeamentos, dutos, etc.

O tipo de uso dos andares determina a densidade de ocupação como no comparativo representado pelas Figuras 3 e 4: a planta à esquerda apresenta o pavimento livre, onde a circulação tem claramente um fluxo normal; em contrapartida, na imagem à direita o lay-out de distribuição do andar está completo, ocupando todo o espaço útil construído, identificando-se nitidamente diversos pontos de afunilamento do fluxo de rota de fuga, causado tanto pela pouca largura, como pela presença do mobiliário e divisórias. Dado que o tempo de evacuação é reconhecido como o intervalo mínimo necessário e previsto para que os ocupantes possam promover a saída da área em chamas ou tomada por fumos ou gases tóxicos e alcançar espaços seguros, os cálculos relativos ao tempo de evacuação previstos ainda consideram um atraso inicial bastante significativo entre a identificação do alarme, a resposta e a ação do indivíduo.



Lay-out do pavimento-tipo sem ocupação



Lay-out do pavimento-tipo implementado

Figuras 3 e 4: Andar tipo - Ping An Finance Center

No andar tipo do edifício Ping Na Finance Center é possível contabilizar um efetivo de aproximadamente 280 pessoas num único pavimento, sem considerar a população flutuante. Além dos aspectos projetuais, estão as condicionantes humanas e diretamente ligadas ao risco, incluindo o intervalo de tempo de permanência dos indivíduos no edifício que se encontram despertos ou em repouso, ou mesmo portadores de alguma deficiência motora, cognitiva ou física. No caso dos arranha-céus a mobilidade torna-se ainda mais desafiadora devido às grandes distâncias e trajetos complexos a serem vencidos e tais reflexões são abordadas neste trabalho.

### 3.1.2 Limitações físicas humanas

Em condições normais de operação de um edifício comercial, voluntários revelaram [8] as dificuldades em circular pelo ambiente de trabalho normalmente, independentemente de suas condições físicas, em situações como portas excessivamente pesadas, botoeiras dos elevadores mal posicionadas ou mesmo indivíduos com fraqueza ou debilidades a níveis leves nos braços necessitando de auxílio para suprimir um botão, apesar de todos os recursos facilitadores aplicados aos ambientes. Considere-se em situações extremas os indivíduos idosos, crianças, gestantes ou de capacidade cognitiva reduzida.

### 3.1.3 Limitações psicológicas

O ser humano busca coerência para se locomover espaços confinados, principalmente os desconhecidos. A coerência permite que os usuários façam deduções razoáveis sobre a identificação, o que significa a localização de objetos e espaços dentro de edifícios. Esta afirmação trata da clareza e ao inverso da complexidade [9]. Espaços ambíguos podem causar stress, causando a dificuldade no discernimento ao tomar decisões. [10]. As ambiguidades espaciais podem ocorrer por diversos fatores e causarem desorientação: cantos, circulação em ângulo, barreiras verticais ou horizontais, corredores e escadas. O não domínio sobre fluxos a seguir provoca insegurança e confusão mental. Outro elemento importante citado é a responsividade em relação ao espaço e ao que este comunica.

### 3.2 Simulação e o imaterial: a escala

As simulações estão atingindo níveis cada vez mais realistas, porém esbarram nas prerrogativas de regulamentações prescritivas [11]. As denominadas “caixas de escadas” estão associadas à estrutura do projeto, criando zonas simétricas na planta do pavimento-tipo e podem ser insuficientes dependendo do fluxo e concentração de pessoas. Questões relativas à acessibilidade têm sido abordadas há décadas a considerar mesmo indivíduos não portadores de qualquer restrição física ou mental como possíveis demandantes futuros de facilidades para entrar, circular ou sair de qualquer edificação sob condições normais de operação, como é o caso do uso das escadas [12].

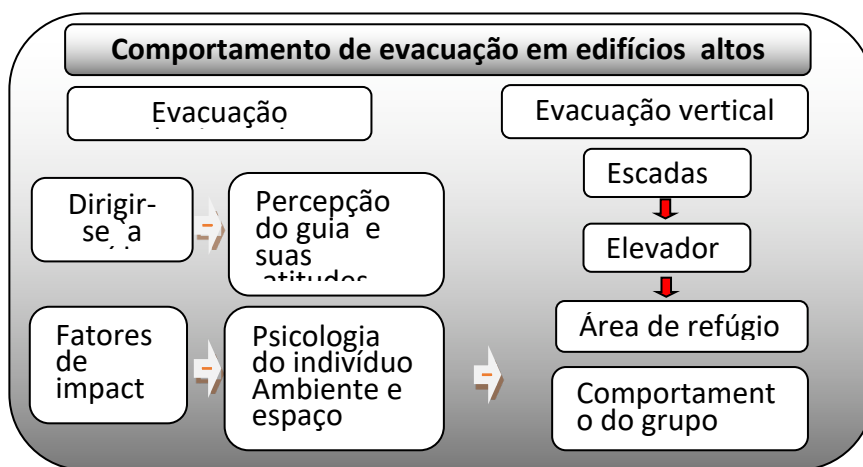


Figura 5: Diagrama esquemático do comportamento de evacuação em edifícios altos

Ademais, há um fator de grande peso e sutil mensuração: em pesquisas sobre o impacto causado aos indivíduos pela presença de grandes edifícios no tecido urbano [13], a maioria dos participantes apontou a grande altura como o fator significativamente mais opressor, muito além da largura, desta que foi denominada a “violação da escala humana. A interação do homem com as cidades está diretamente ligada à sua escala de alcance e utilização dos espaços, definindo que a escala hominal é de fato elemento decisivo para o sucesso do projeto. O domínio visual espacial traz conforto e segurança comuns ao senso de pertencimento e integração. Diante de tais constatações, os projetistas precisam rever conceitos quando ultra dimensionam suas obras e considerarem novas abordagens nas questões relativas à Segurança contra Incêndios nos edifícios de grande altura. Para além dos requisitos normativos, surgem evidências contundentes das limitações inerentes ao ser humano, ou seja, sua conformação física, psicológica e emocional.

### 3.3 Alternativas projetuais

A maioria dos edifícios não possui elevadores para uso em situação de emergência, já que a orientação à opção pelas escadas tem sido recorrente na maioria das regulamentações prescritivas, porém as pesquisas demonstram que é impossível a evacuação total de um edifício de grande altura utilizando-se apenas as escadas [14]. O escape através de elevadores é uma das soluções em edifícios como o Burj Khalifa, que dispõe de sistemas de elevadores específicos para uso em caso de emergência, bem como inúmeras áreas de refúgio.

Em decorrência de diversos incêndios em edifícios altos, novos métodos e equipamentos têm sido desenvolvidos com vistas a tornar a evacuação e o salvamento tanto de usuários como equipes de salvamento mais eficazes. Exemplos são as plataformas de resgate, rampas de descida protegidas por redes especiais retas ou helicoidais. O conceito aplicado nestas soluções tem origem nos sistemas de segurança de navios, aviões, indústrias de

petróleo e gás [15], além de inserções na própria arquitetura como as áreas de escape, escadas externas retráteis e os “skybridges” como alternativas extras.



Figura 6: Petronas Tower - Getty Images/Alan Copson

Os elementos arquitetônicos conhecidos como “skybridges” são passarelas normalmente alocadas nos andares mais altos que permitem o deslocamento de pessoas entre um edifício e outro, principalmente em situações de emergência. Projetos como o “Petronas Twin Towers”, em Kuala Lumpur, trazem esta proposta, representada na Figura 6. Porém nem sempre é viável implementar tal recurso em função do entorno onde a construção será implantada, sua geometria e a distância relativa às demais edificações.

#### 4. CONCLUSÕES

As investigações relativas ao risco de incêndio devem ser avaliadas por especialistas, sob o olhar crítico da viabilidade e exequibilidade da operação de evacuação e resgate em um sinistro, para que esses projetos sejam enquadrados em classificações de risco adequadas [16], independentemente do uso final da edificação com grandes alturas.

Projetistas brilham como idealizadores de sonhos e estão constantemente sob os holofotes dos empreendimentos altamente desafiadores, demonstrando a capacidade criadora e evolutiva, trazendo diuturnamente novos paradigmas, que no caso dos incêndios devem ir muito além das prerrogativas da legislação existente e alcançar o estado da arte no que se refere à concepção de ambientes seguros. Após o atentado ao World Trade Center, o National Institute of Standards and Technology (NIST), no ano de 2005 propôs uma série de recomendações de aprimoramento de regulamentações e normas técnicas [17], além dos procedimentos relativos ao gerenciamento de situações de emergência em edifícios altos.

Na busca por soluções eficientes em projeto e especificações técnicas, é fundamental reconhecer a relevância das variáveis comportamentais humanas, tanto em suas condições físicas e possibilidades de locomoção, quanto as psicológicas ao se defrontarem com uma situação de emergência. Durante deslocamentos verticais em arranha-céus os usuários enfrentarão distâncias que podem atingir centenas de metros, que deverão ser suprimidos em intervalo de tempo mínimo. Há de se considerar também o atraso inicial de reação ao estímulo gerado pelos detectores e alarmes por exemplo, demonstrado em estudos como ocorrência bastante comum e que gera comportamento de risco aos ocupantes. Mesmo em casos onde foram aplicadas as evacuações por escadas, elevadores e em fases, ocorreram falhas.

Observa-se um aparente desequilíbrio entre a escala do ser humano potencial e a escala aplicada nos arranha-céus. Quando os olhos humanos não são capazes de identificar as linhas-limite em seu caminho, meios alternativos são necessários para contrapor tal limitação. Conclusivamente, para alcançar a qualidade do ambiente construído de modo a atender aos anseios humanos bem como avaliar a densidade do efetivo e as distâncias e obstáculos a serem transpassados em uma edificação ultra-alta, torna-se imprescindível a implementação de ferramentas alternativas como a robótica e que ainda demandam desenvolvimento tecnológico e científico para a adequação às condições humanas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ono, Rosaria. "O Impacto do Método de Dimensionamento das Saídas de Emergência Sobre o Projeto Arquitetônico de Edifícios Altos: uma análise crítica e proposta de aprimoramento." São Paulo (2010): 457p.
- [2] Council of Tall Buildings and Urban Habitat "100 Future Tallest Buildings in the World by Height to Architectural Top" The Skyscraper Center
- [3] Ballio, G.; Mazzolani, F.M. – *Theory and Design of Steel Structures*. Chapman and Hall, 1983, 632 p.
- [4] Jerzy Szolomicki, Hanna Golasz-Szolomicka "Technological Advances and Trends in Modern High-Rise Buildings" Article, Faculty of Civil Engineering, Wrocław University of Science and Technology, Poland 2 Faculty of Architecture, Wrocław University of Science and Technology, Poland, 2019
- [5] Ono, Rosaria. "Emergency exits in high-rise buildings", Iberian-Latin-American Congress on Fire Safety – CILASCI 5 Porto, Portugal, 15 - 17 July 2019
- [6] M.J Kinsey, E.R Galea, P.J Lawrence "Stairs or Lifts? - A Study of Human Factors associated with Lift/Elevator usage during Evacuacions using an online Survey". Fire Safety Engineering Group - University of Greenwich, London, UK,2010
- [7] Stairwell Evacuation from Buildings: What We Know We Don't Know Richard D. Peacock Jason D. Averill Erica D. Kuligowski Fire Research Division Building and Fire Research Laboratory, January 2009
- [8] Kathryn M. Butler Susanne M. Furman Erica D. Kuligowski Richard D. *Perspectives of Occupants with Mobility Impairments on Fire Evacuation and Elevators* Peacock Technical
- [9] Kaplan, Stephen. "A Model of Person-Environment Compatibility." *Environment and Behavior*, vol. 15, no. 3,, p. 311–332, 1983
- [10] Gary W. Evans, Janetta Mitchell McCoy, "When Buildings don't work: the Role of Architecture in Human Health" *Journal of Environmental Psychology*, Volume 18, Issue 1, p 85-94, 1998
- [11] Hackett, Dame Judith "Building a Safer Future – Independent Review of Building Regulations and Fire Safety": Final Report. United Kingdom, 2018
- [12] Archea JC. "Environmental factors associated with stair accidents by the elderly". *Clin Geriatr Med*. P 555-69, 1985
- [13] Esmael Zarghami *et al* , "Assessing the oppressive impact of the form of tall buildings on citizens: Height, width, and height-to-width ratio" *Environmental Impact Assessment* Review, V 79, 2019
- [14] Yao-jian Liao, Guang-xuan Liao, Siu-ming Lo, "Influencing Factor Analysis of Ultra-tall Building Elevator Evacuation" *Procedia Engineering*, V 71, 2014
- [15] Mansor H, Sahol Y H, Suliman N H, Ahmad N, Hamzah N, *Evacuation egress in high rise building: Review of the current design evacuation solution*, Faculty of Civil Engineering,
- [16] Cowlarda, Adam *et al*, "Fire Safety Design for Tall Buildings" - The 9th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, Australia, Science Direct, p 169-181, 2013  
Universiti Teknologi Mara (UiTM) MATEC Web of Confernces 258, (2019)
- [17] Duarte, Rogério Bernardes *et al* "Problemática de edifícios altos", web book, 178 p, São Paulo, 2021

# INTEGRAÇÃO DOS RISCOS NATURAIS NO PROCESSO DE PLANEAMENTO E GESTÃO DE ESPAÇOS RURAIS. PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O MUNICÍPIO DE IDANHA-A-NOVA



**Luís Quinta-Nova**

+++++

Professor Adjunto

IPCB

Castelo Branco

## SUMÁRIO

O ordenamento dos espaços rurais constitui um instrumento necessário para que as várias entidades os utilizem de acordo com as suas aptidões, contribuindo para o seu aproveitamento integrado e economicamente sustentável. Os incêndios rurais constituem, anualmente uma preocupação. Já as áreas de elevado risco de erosão hídrica são as que estão sujeitas à perda excessiva de solo por ação do escoamento superficial. Foi aplicada, no município de Idanha-a-Nova, uma metodologia de análise espacial multicritério - o Processo Analítico Hierárquico (AHP) - com recurso a uma ferramenta SIG, que visa apoiar o planeamento e gestão de territórios rurais de acordo com as potencialidades e limitações à sua utilização, integrando fatores de risco que influenciam mais diretamente os territórios agroflorestais, designadamente a erosão hídrica do solo e o risco de incêndio florestal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Erosão Hídrica; Ordenamento do Território; Risco de Incêndio Florestal; Riscos Naturais

## 1. INTRODUÇÃO

O ordenamento dos espaços agroflorestais constitui um instrumento necessário para que as várias entidades os utilizem de acordo com as suas aptidões, contribuindo para o seu aproveitamento integrado e economicamente sustentável. Considerando-se que a aptidão natural do território para um determinado uso resulta da conjugação de fatores relacionados com a capacidade intrínseca desse território no que respeita aos fatores ambientais, com as potencialidades que advêm da transformação do território pelo homem. Juntamente com a determinação das potencialidades de uso, há a necessidade de integrar os fatores de risco que influenciam mais diretamente a utilização agroflorestal, designadamente a erosão hídrica do solo e o risco de incêndio rural.

É dever dos agentes responsáveis identificar os fenómenos que constituem um risco para as comunidades humanas e antecipar as suas consequências, de modo a minimizar os prejuízos, não só pela implementação das medidas de mitigação necessárias, mas também pela atuação a montante, no quadro do ordenamento do território, através da adequada localização das populações e das atividades económicas [1].

Os incêndios rurais constituem, anualmente uma preocupação tanto a nível nacional como a nível municipal. Todos os anos a sua ocorrência dá origem a avultados prejuízos materiais e danos ambientais elevados. Para além destas consequências, subsistem ainda a complexidade que se constata de ordem social, e que são muitas vezes

---

+++++Autor correspondente – Instituto Politécnico de Castelo Branco, Escola Superior Agrária, Quinta da Senhora de Mércules, 6000-909 Castelo Branco, Castelo Branco, Portugal  
email: [lnova@ipcb.pt](mailto:lnova@ipcb.pt) <https://www.ipcb.pt/esacb/escola-superior-agraria>

difíceis de avaliar e quantificar. Já as áreas de elevado risco de erosão hídrica são as que estão sujeitas à perda excessiva de solo por ação do escoamento superficial, e a sua delimitação deve considerar de forma integrada o declive e a erodibilidade média dos solos resultante da sua textura, estrutura e composição.

Pretende-se, com este trabalho, integrar no processo de decisão os fatores de risco que influenciam mais diretamente os territórios agroflorestais, designadamente a erosão hídrica do solo e o risco de incêndio florestal, no processo de determinação das aptidões de uso, de modo a que as propostas de zonamento e correspondente gestão sejam mais adequadas às particularidades do território.

## 2. METODOLOGIA

Foi aplicada, no município de Idanha-a-Nova, uma metodologia de análise espacial com recurso a uma ferramenta SIG - ArcGIS 10.6, de apoio ao planeamento e gestão do território de acordo com as potencialidades e limitações à sua utilização.

Para a determinação dos diferentes níveis de aptidão para a utilização agroflorestal recorreu-se a fatores edáficos e topográficos, designadamente as potencialidades genéricas dos solos [2], os declives do terreno e as exposições das encostas. Os fatores foram, posteriormente, classificados em três níveis de aptidão: reduzida ou nula, moderada e elevada, face às potenciais utilizações agroflorestais.

Para integração dos diferentes fatores, classificados em níveis de aptidão para uma determinada categoria de uso, recorreu-se ao método de análise espacial multicritério Processo Analítico Hierárquico - *Analytic Hierarchy Process* [3], para a determinação da aptidão global por categoria de uso.

De acordo com o Processo Analítico Hierárquico (AHP) o problema é dividido em níveis hierárquicos de tomada de decisão. Após a hierarquização do problema, em cada nível, os critérios (fatores) que condicionam a tomada de decisão são comparados par a par (*pairwise comparison*) numa matriz de decisão quadrada  $n \times n$ , onde os critérios estão dispostos na mesma ordem ao longo das linhas e das colunas. Para essa comparação foi adotada uma escala de prioridade de nove valores numéricos [3]. Ainda segundo o mesmo autor as prioridades a atribuir aos critérios resultam de um conjunto de julgamentos subjetivos realizados por especialistas envolvidos no processo.

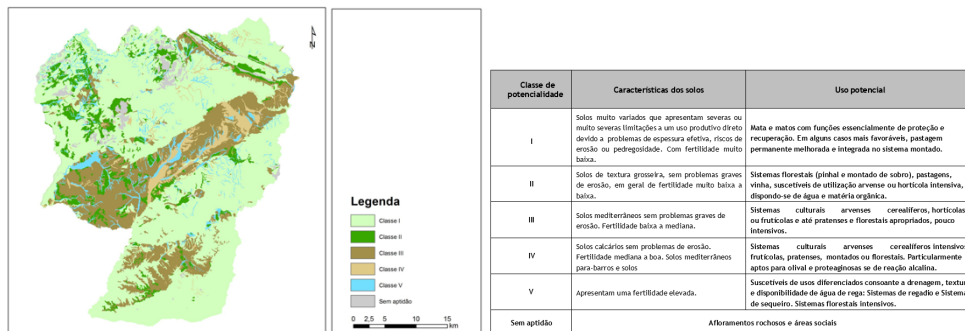
O processo AHP é concluído pela determinação da importância relativa de cada critério e pela validação da consistência destas operações. Se o índice de Razão de Consistência (RC) for inferior a 10% ( $RC < 0,1$ ), significa que existe uma coerência na comparação par a par da matriz.

Na determinação do risco de incêndio florestal utilizou-se a metodologia CRIF - Carta de Risco de Incêndio Florestal proposta por Almeida et al. [4], integrando os critérios biofísicos e humanos que contribuem para a determinação do risco de incêndio florestal. Para a determinação do risco de erosão hídrica foi utilizada a metodologia RUSLE - Equação Universal de Perda de Solo Revista [5], que permitiu prever a perda de solo e identificar quais as áreas com maior potencial erosivo.

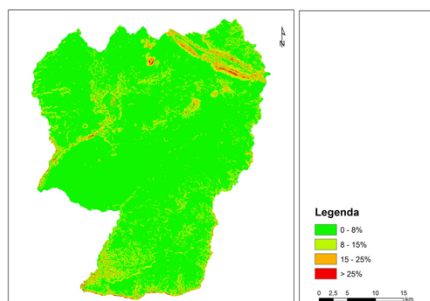
Como corolário, procedeu-se a uma análise espacial que visou agregar os cenários de aptidão para os diferentes usos do solo, a ocupação atual do solo, as condicionantes legais e os riscos de incêndio florestal e de erosão hídrica. Para o efeito recorreu-se à operação *combine* do programa ArcGIS, que permite gerar combinações de valores associados aos vários temas.

## 3. RESULTADOS

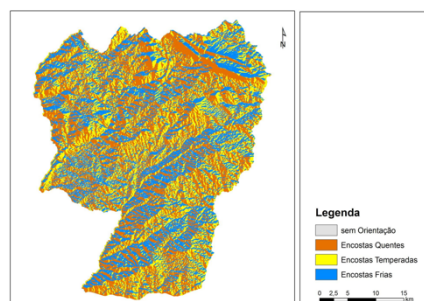
No Processo Analítico Hierárquico (AHP), utilizado para a determinação das aptidões para as diferentes tipologias de uso consideraram-se os fatores Potencialidade do solo, Declive do terreno e Exposições das encostas (Figura 1).



(a) Potencialidades genéricas dos solos



(b) Declives do terreno



(c) Exposições das encostas

Figura 1: Fatores ambientais considerados na análise AHP.

Como resultado da análise AHP realizada obtiveram-se os cartogramas apresentados na Figura 2. No Quadro 1 apresentam-se os resultados das matrizes de comparação par a par, onde se indicam os pesos de cada critério. Na análise realizada o valor da razão de consistência (RC) obtido foi de 0,062 ( $RC < 0,1$ ). Admitindo-se, deste modo, a existência de uma boa consistência na comparação par a par da matriz.

Quadro 1: Resultados da comparação par a par

Crítérios	Peso $w_{ij}$
Potencialidades genéricas dos solos	0,731
Declives do terreno	0,188
Exposições das encostas	0,081
[Razão de Consistência (CR) = 0,062]	

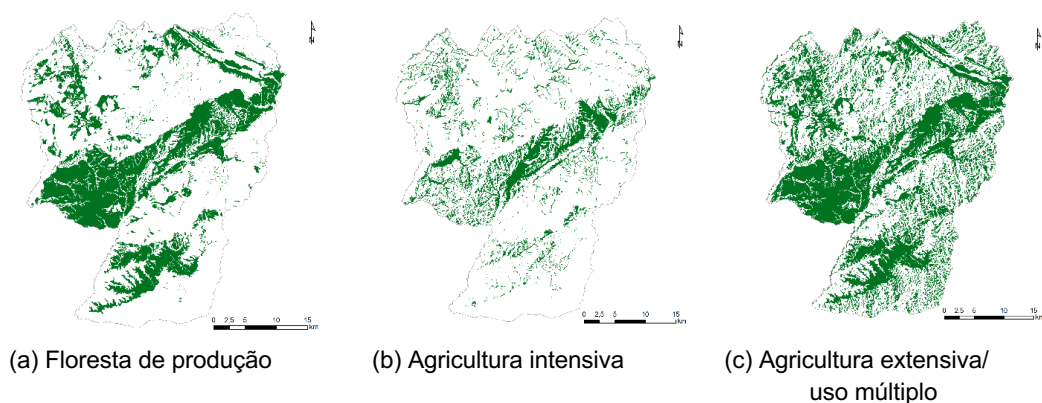


Figura 2: Aptidão do solo por tipologia de uso.

Como resultado da aplicação da metodologia CRIF e da metodologia RUSLE revista, foram identificadas as áreas críticas em termos de risco de incêndio rural e risco de erosão hídrica do solo (Figura 3).

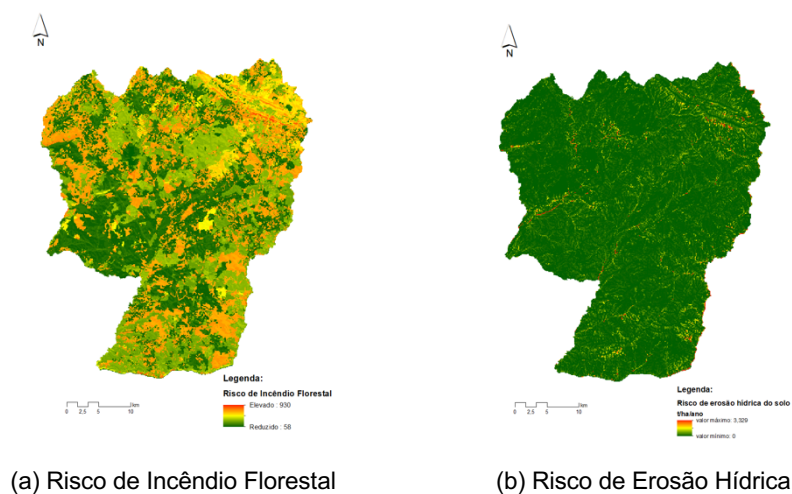


Figura 3: Cartografia dos riscos

A integração dos cenários de aptidão para os diferentes usos do solo, a ocupação atual do solo, as condicionantes legais e os riscos permitiu a identificação de diferentes níveis de intervenção no território. Identificaram-se, igualmente, as áreas com potencial para reconversão do uso.

Como corolário da análise efetuada elaborou-se uma carta síntese das condicionantes e potencialidades de uso agrícola e florestal, que poderá servir como matriz base para a elaboração de propostas de intervenção no município de Idanha-a-Nova no âmbito da elaboração de instrumentos de gestão territorial (Figura 4).

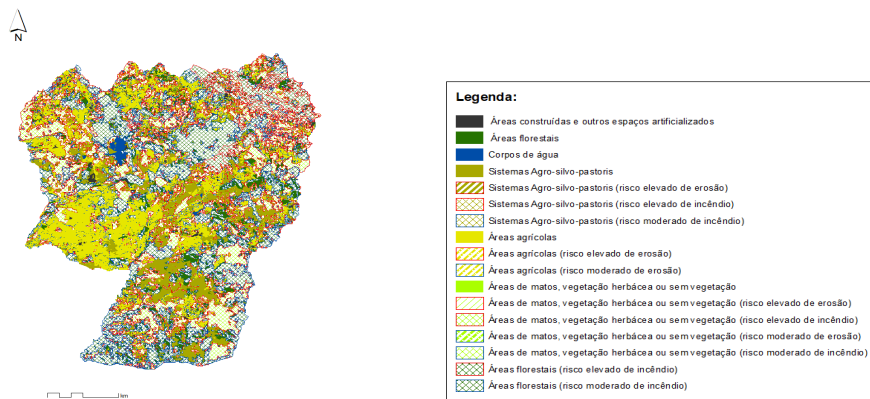


Figura 4: Base para as propostas de ordenamento.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste estudo, desenvolveu-se um modelo de avaliação espacial multicritério em ambiente SIG para a determinação da aptidão do solo para utilizações agrícolas e florestais, com aplicação em planos de gestão territorial. O modelo integra, igualmente, informação referente aos riscos com implicações diretas na utilização dos espaços rurais com fins produtivos, designadamente o risco de incêndio florestal e o risco de erosão hídrica. Do ponto de vista instrumental a exploração da metodologia pode assumir um interesse como auxiliar para os agentes da administração pública com funções na área do planeamento e gestão do território.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado por Fundos Nacionais através da FCT, fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto UIDB/00681/2020.

#### REFERÊNCIAS

- [1] ANPC - *Guia para a caracterização do risco no âmbito da elaboração de Planos de Emergência de Proteção Civil*, Autoridade Nacional de Proteção Civil, Lisboa, 2009.
- [2] UNESUL - Relatório do Projeto “*Análise da evolução de uma área da Península de Setúbal na sequência de um processo de alteração de uso*”, Associação Universidade-Empresa do Sul, Évora, 1996.
- [3] Saaty, T. L. - *The Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, 1980, 287 p.
- [4] Almeida, R., Caridade, Redinha, J., Grilo, F., M., António, R., Castro, M. Vinagre, P., Pinheiro, D., Guerreiro, J. Sousa & C. Mendonça, M. - *Relatório do Projecto Piloto de Produção de Cartografia de Risco de Incêndio Florestal*, Centro Nacional de Informação Geográfica, Lisboa, 1995.
- [5] Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A. & Porter, J. P. - *RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation*, *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 46, no. 1, 1991, p. 30

# IMPACTO DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA GESTÃO DE EMERGÊNCIA DE UM ACIDENTE GRAVE ENVOLVENDO MATÉRIAS PERIGOSAS: CASO DE ESTUDO NA LINHA FERROVIÁRIA DE LEIXÕES

**Miguel Sousa<sup>1</sup>**  
Mestrando  
Universidade  
Lusófona do Porto

**Artur Fernandes  
Costa**  
Universidade  
Lusófona do Porto

**Johnny Reis**  
Bolsheiro de  
Investigação  
Doutorando  
CESAM –  
Universidade de  
Aveiro

**Daniel Graça**  
Bolsheiro de  
Investigação  
Mestrando  
CESAM –  
Universidade de  
Aveiro

**André Rodrigues**  
Bolsheiro de  
Investigação  
Doutorando  
ADAI – Universidade  
de Coimbra

## 1. INTRODUÇÃO

O transporte de mercadorias é vital para o desenvolvimento de uma economia local, seja por terra (ferrovia ou rodovia), por meio aquático (marítimo ou fluvial) ou aéreo [1] [2]. A ferrovia assume-se como uma infraestrutura preferencial em muitos dos casos, uma vez que acarreta múltiplas vantagens comparativamente a outros métodos de transporte, nomeadamente, relações custo-benefício mais vantajosas, principalmente em situações cujos terminais de carga se situam próximos dos locais de produção ou armazenamento e uma vez que permite o transporte de grandes volumes e diferentes materiais em simultâneo [3] [4]. Em Portugal, o transporte de mercadorias por ferrovia, entre os anos de 2012 e 2016, sofreu um incremento na ordem dos 138,9%, o que é demonstrativo da importância e da crescente aposta nesta modalidade de transporte [5] [6]. De entre as várias mercadorias transportadas encontram-se, naturalmente, matérias perigosas que, no caso nacional, representam cerca de 1% do total de mercadorias transportadas por ferrovia [6]. Jaffin define estas substâncias e matérias como qualquer substância que tenha o potencial de causar danos às pessoas ou ao meio ambiente, se derramada sem controlo [7]. Esta tipologia de substâncias e matérias podem constituir-se como químicos puros, mistura de substâncias ou resíduos, segundo Santos e Neves [8]. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), as propriedades intrinsecamente e potencialmente perigosas destas matérias permitem o seu agrupamento de uma forma aproximadamente homogénea em 9 classes distintas, segundo as suas orientações para o transporte de mercadorias perigosas, tal como documenta a tabela seguinte:

Tabela 7. Classes de Matérias Perigosas | Fonte: ONU (2019)

Classe	Designação
1	Matérias e objetos explosivos
2	Gases
3	Líquidos inflamáveis
4.1	Matérias sólidas inflamáveis, matérias auto-reativas e matérias sólidas explosivas dessensibilizadas inflamáveis
4.2	Matérias sujeitas a inflamação espontânea
4.3	Matérias que, em contacto com a água, libertam gases inflamáveis
5.1	Matérias comburentes
5.2	Peróxidos orgânicos
6.1	Matérias tóxicas
6.2	Matérias infecciosas
7	Matérias radioativas
8	Matérias corrosivas
9	Matérias e objetos perigosos diversos

De acordo com Reis et al., os principais riscos inerentes a este tipo de substâncias são a formação de atmosferas perigosas (tóxicas, corrosivas ou explosivas, por exemplo) decorrente de derrames, fugas ou emissões em processos produtivos, armazenamento ou durante o seu transporte [9]. Estas situações poderão causar, consequentemente, incêndios e explosões, de proporções significativas que, em casos mais graves, podem resultar em sérios danos nas populações envolvidas, edificado e meio ambiente-, de forma aguda ou prolongada no tempo [10]. Em Portugal não existem registos de acidentes ferroviários que tenham envolvido matérias perigosas, todavia, existe um registo histórico de eventos na ferrovia que deverá ser tido em conta, especialmente, os acidentes de Moimenta-Alcáçate, ocorrido em 1985, e o acidente de Póvoa de Santa Iria, ocorrido em 1986, que, juntos, provocaram mais de 200 vítimas mortais e um número indeterminado de feridos [11]. Ainda assim, de acordo com os registos do Eurostat, no ano de 2018, foram registados 17 acidentes ferroviários em Portugal, distribuídos por colisões, descarrilamentos e acidentes em áreas de interação com infraestruturas rodoviárias, nomeadamente, em passagens de nível [12]. Já no decorrer do ano de 2020, ocorreram dois acidentes graves na ferrovia portuguesa, o acidente em Soure que provocou a morte a duas pessoas, sete feridos graves e 36 feridos ligeiros, e o acidente ocorrido em Leiria entre um comboio e uma viatura ligeira de mercadorias que causou a morte do ocupante do automóvel e a interrupção durante longas horas da circulação na linha ferroviária em causa [13]. A recorrência e a gravidade deste tipo de acidentes levantam múltiplas questões no que concerne à mitigação dos riscos e ao planeamento de emergência, principalmente se nestes acidentes forem envolvidas matérias perigosas e se estes ocorrerem em zonas densamente populadas [14]. O conhecimento destes riscos e potenciais efeitos numa determinada população é essencial pois, será com base nessa análise prévia, que o planeamento de emergência e demais ferramentas de mitigação de risco, como a política de gestão territorial, se configurarão [15] [16]. Para os acidentes ferroviários com matérias perigosas, a Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC), na sua análise de riscos nacional, apenas prevê que a suscetibilidade de acidentes é elevada em toda a rede ferroviária do país, o que é relativamente escasso, desconhecendo-se, de que forma serão afetados os diferentes locais que são atravessados por essas infraestruturas em caso de acidente. Da análise efetuada pela ANEPC, bem como tendo em conta o seu Manual de Intervenção em Emergências com Matérias Perigosas (MIEMP), resulta que todos os locais serão atingidos de forma idêntica, não se considerando variáveis como o número e a tipologia de elementos expostos, a existência de elementos/infraestruturas estratégicas ou sensíveis na zona de afetação ou as condições meteorológicas, entre outras. [17] [18]. No âmbito das condições meteorológicas, no caso do MIEMP, apenas se têm em conta as diferenças na distribuição horária – dia e noite – e respetivas implicações que isso têm na estabilidade atmosférica, não atendendo, portanto, a questões como os ventos dominantes, a velocidade do vento, o coberto de nuvens, entre outros fatores condicionantes na propagação e dispersão de poluentes [19] [20] [21]. Como consequência das premissas anteriores, o planeamento de emergência e gestão operacional apresentarão lacunas dado o seu carácter genérico e desenquadrado das

particularidades locais [22]. Neste contexto, o presente artigo procura fornecer contributos para uma melhor compreensão, primeiramente, do risco de acidentes ferroviários envolvendo matérias perigosas e, segundo, de que forma são impactantes as vulnerabilidades e características locais no planeamento, preparação e gestão de uma emergência desta natureza, nomeadamente, as condições meteorológicas. Utilizou-se, para tal, como base de trabalho, um caso de estudo na linha ferroviária de Leixões, em Matosinhos, onde se efetuaram simulações de acidentes na linha com recurso ao *software* Aloha.

## 2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA EM ESTUDO

### 2.1. INTRODUÇÃO

A caracterização da zona em estudo, a nível geofísico, meteorológico e também ao nível das suas infraestruturas e equipamentos, por exemplo, constitui, no âmbito da proteção civil, o ponto de partida para uma análise de risco por forma a detetar e a categorizar as vulnerabilidades locais existentes, indispensáveis de conhecimento para a prevenção, preparação, planeamento e resposta à ocorrência de riscos coletivos [23] [24]. Matosinhos localiza-se no noroeste de Portugal Continental, Região Norte e Área Metropolitana do Porto e possui uma área de, aproximadamente, 62,42 km<sup>2</sup>. É delimitado a norte pelo concelho de Vila de Conde, a Sul pelo município do Porto, a Este pelo concelho da Maia e a Oeste pelo Oceano Atlântico. De acordo com o último recenseamento efetuado em 2011, a população residente de Matosinhos era de cerca de 175.500 habitantes o que resulta numa densidade populacional de 2811,2 pax/km<sup>2</sup> [25]. A distribuição da população pelo território é heterogénea, concentrando-se, sobretudo, nas zonas sul do concelho, conforme ilustra a Figura 60. O município possui um conjunto de importantes infraestruturas para a região e para o país como é o caso do porto marítimo de Leixões (2º maior do país), várias autoestradas e estradas nacionais que permitem a ligação com cidades como Porto, Braga ou Viana do Castelo. Para além disso, o concelho possui um terminal de cruzeiros, e uma proximidade ao Aeroporto do Porto (que ocupa ainda parte do território concelhio). Em termos de ferrovia, Matosinhos encontra-se dotado de duas linhas do metro do Porto e a linha de Leixões que é, atualmente, utilizada somente para transporte de mercadorias e que faz a ligação entre Contumil, entroncando com a Linha do Minho, e o porto marítimo de Leixões. De entre múltiplas atividades que compõem o tecido socioeconómico do concelho, particularize-se a indústria afeta às matérias perigosas, existindo 8 classificadas como SEVESO, 6 das quais de nível superior de perigosidade, das quais se destaca a Refinaria de Matosinhos, o parque de gás de Almeiriga, a Fater ou o terminal de granéis líquidos do porto de Leixões [26]. O território municipal é também atravessado por infraestruturas fixas de transporte como oleodutos e gasodutos que, por questões de razões de segurança nacional, os seus traçados são confidenciais.

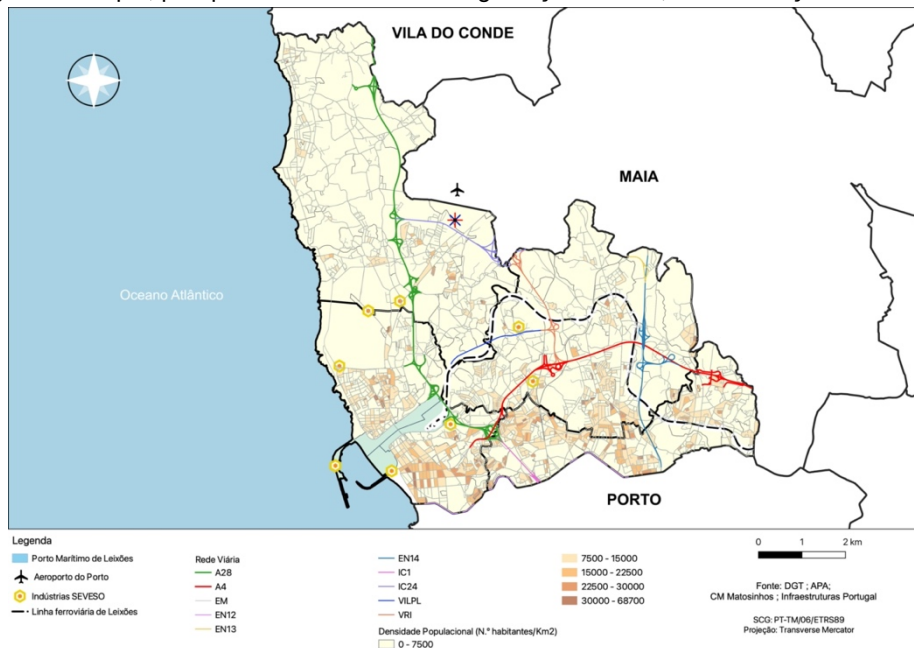


Figura 60. Enquadramento geográfico de Matosinhos, densidade populacional e infraestruturas concelhias mais relevantes | Fonte: Elaboração própria

## 2.2. CARACTERIZAÇÃO METEOROLÓGICA

Para proceder à caracterização meteorológica da área em estudo, foram analisados dados de um intervalo temporal de 10 anos (entre 2009 e 2019) da Estação Meteorológica do Aeroporto do Porto fornecidos pelo Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA). A escolha desta estação meteorológica teve por base a proximidade geográfica ao concelho em virtude de não existir uma estação meteorológica no mesmo. As rosas dos ventos para esta estação ilustram-se na Figura 61 e foram obtidas utilizando o WRPLOT View – Freeware 8.0 e, no caso da precipitação e temperatura, os dados foram sujeitos a tratamento com recurso a linguagem Python.

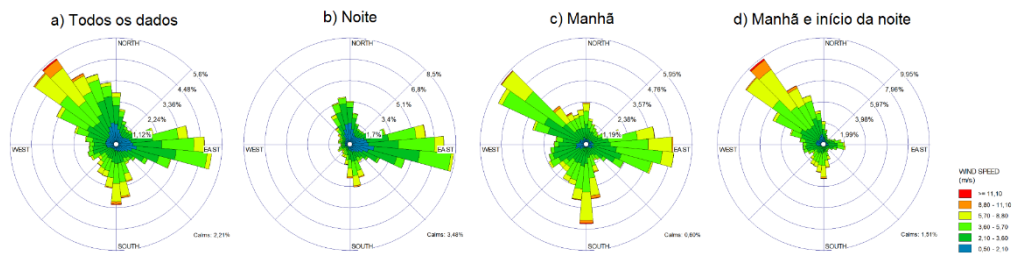


Figura 61. Rosa dos Ventos por período do dia (2009-2019) | Fonte: IPMA (2020)

Devido à proximidade ao Oceano Atlântico, a existência das brisas marítimas/terrestres é visível nas rosas dos ventos. Durante o período noturno (Ver Figura 2B), registam-se ventos predominantemente oriundos de Este sendo este o período mais calmo no que diz respeito às suas velocidades. Por seu turno, no período da manhã (Ver Figura 2C), regista-se a transição dos ventos, começando por soprar, mais frequentemente, dos quadrantes Este e Sul nas primeiras horas, mas que, progressivamente, começa a fazer-se sentir cada vez mais do quadrante Noroeste, as conhecidas Nortadas. Durante o período da tarde o vento é predominantemente do mesmo quadrante (NW) registando-se, no entanto, maiores intensidades comparativamente ao período da manhã.

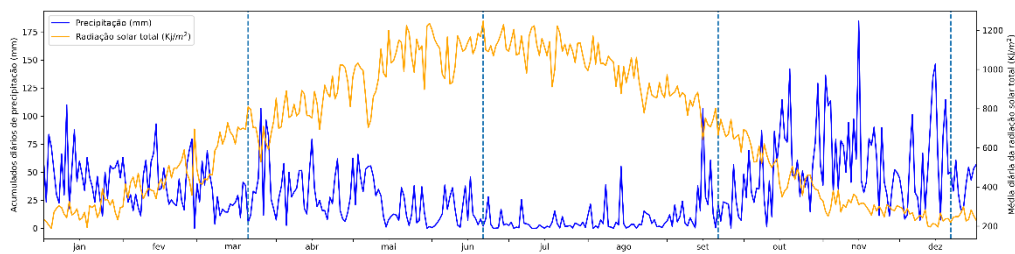


Figura 62. Dados de precipitação e temperatura (2009 - 2019) | Fonte: IPMA (2020)

No âmbito da precipitação, como seria expectável, é nas estações do Outono e Inverno que se registam maiores períodos e quantidades de precipitação, embora, na primeira metade da Primavera e na segunda quinzena de setembro também se registem valores de precipitação consideráveis. A proximidade atlântica ao concelho traduz-se em elevados valores de humidade relativo ao longo de todo o ano, sendo a medida anual de 71,6%, valores que são muito superiores nos períodos noturnos. Por sua vez, a temperatura média anual é de 15°C, tendo-se registado, no período em análise, o valor mínimo de 0°C e o máximo de 43,1°C. A intensidade da radiação e a cobertura de nuvens para cada estação foram escolhidas levando em conta o gráfico com a irradiação média diária e precipitação para o período de 10 anos.

### 2.2.1. ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA

Um dos fatores mais importantes e altamente influenciador para a dispersão de poluentes é a estabilidade atmosférica [21]. Este fator é dependente do perfil vertical da temperatura, da humidade relativa do ar e da velocidade do vento. Devido a um gradiente da densidade do ar, um volume de ar mais quente ou mais húmido que o ar circundante se torna mais instável e subirá na atmosfera. Em contraponto, um volume de ar mais frio ou mais seco que o ar circundante é estável e descerá na atmosfera. Em condições neutras, um volume de ar que

está à mesma temperatura e humidade que o ar circundante só tende a acompanhar o movimento da atmosfera [27]. Os dados de estabilidade atmosférica inseridos no *software* Aloha® tiveram por base a metodologia de Pasquill-Gifford (Ver Tabela 7) que é de fácil aplicação, ampla e aceite de uma forma generalizada para o cálculo dos valores de classe de estabilidade atmosférica. Com base em medições da velocidade do vento a uma altura de 10 metros e intensidade da radiação do sol durante o dia e o coberto de nuvens durante a noite, esta metodologia assume que os fluxos convectivos da radiação solar durante o dia, o coberto de nuvens e os fluxos mecânicos do vento, controlam a estabilidade atmosférica nas camadas mais próximas do solo. [21]. A classificação da estabilidade atmosférica organiza-se em 6 classes distintas, sendo elas: A (muito instável), B (instável), C (ligeiramente instável), D (neutro), E (ligeiramente estável) e F (estável).

Tabela 1. Classes de estabilidade atmosférica segundo a metodologia Pasquill-Gifford

Velocidade do vento a 10m (m/s)	Dia			Noite	
	Intensidade da radiação solar			Coberto Nuvens	
	Alta	Média	Baixa	> 4/8	< 3/8
< 2	A	A - B	B	-	-
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

### 3. LINHA DE LEIXÕES

#### 3.1. ENQUADRAMENTO

A linha de Leixões garante a ligação entre o porto marítimo de Leixões e a estação de Contumil, efetuando, neste ponto, a ligação com a Linha do Minho. Esta infraestrutura começou a ser construída na década de 30 tendo sido inaugurada, oficialmente, em 1938. Esta possui um trajeto com cerca de 12,81 km no concelho de Matosinhos e atualmente é somente utilizada para o transporte de mercadorias, pese embora, entre 2009 e 2011, também tivesse existido serviço de passageiro neste troço ferroviário. Recorrendo à análise da Figura 60, verifica-se que o traçado em causa atravessa importantes aglomerados populacionais nas zonas mais a sul do território como é o caso das cidades de S. Mamede de Infesta e Leça do Balio. A linha é intercetada em alguns pontos pela rede viária, destacando-se, em S. Mamede de Infesta, a zona junto à estação ferroviária local, em Leça do Balio, na zona do Araújo e em Custóias na localidade de Esposade. Neste troço ferroviário, em particular, no que ao concelho de Matosinhos diz respeito, não existe histórico de acidentes graves.

#### 3.2. ESTATÍSTICA DE TRANSPORTES DE MP

Em Portugal, de acordo com o Instituto Nacional de Estatística (INE), a rodovia é o método preferencial para o transporte de mercadorias, dada a sua versatilidade e âmbito territorial, seguido do transporte marítimo e ferroviário, respetivamente. No caso concreto da ferrovia, no ano de 2018, de acordo com a mesma fonte, 10.582 milhões de toneladas de mercadorias foram transportadas. As mercadorias transportadas mais predominantes foram artigos metálicos, maquinaria e equipamentos, carvão e produtos refinados do petróleo. No âmbito das matérias e substâncias perigosas, predominaram as matérias das classes 3 (líquidos inflamáveis) e os gases comprimidos, liquefeitos ou sob pressão (classe 2). No total, no ano de 2018, um total de 1.604.518 toneladas de mercadorias perigosas foram transportadas na ferrovia nacional. Particularizando a Linha de Leixões, foram analisados dados provenientes do Serviço Municipal de Proteção Civil (SMPC) de Matosinhos de forma a verificar-se as quantidades e tipos de matérias transportadas e, se existentes, tendências de transporte em termos horários. A figura seguinte ilustra a totalidade de matérias transportadas na linha de Leixões entre os anos de 2011 e 2020:

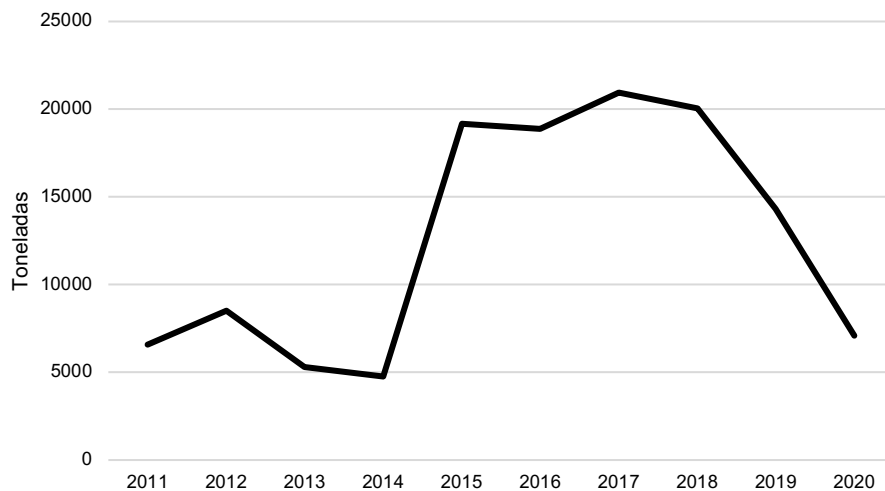


Figura 63. Total de matérias perigosas transportadas na Linha de Leixões entre 2011 e 2020 (Fonte: SMPC Matosinhos)

A Figura 63 demonstra que o transporte de matérias perigosas na linha tem sofrido grandes variações no período em análise. Após um incremento significativo no ano de 2015 e atingir valor máximo em 2017, verifica-se, desde então, uma queda progressiva nas quantidades transportadas na linha, sofrendo uma grande queda no ano de 2020, devido à quebra na produção fabril das indústrias de Matosinhos e envolventes provocada pela pandemia de COVID-19.

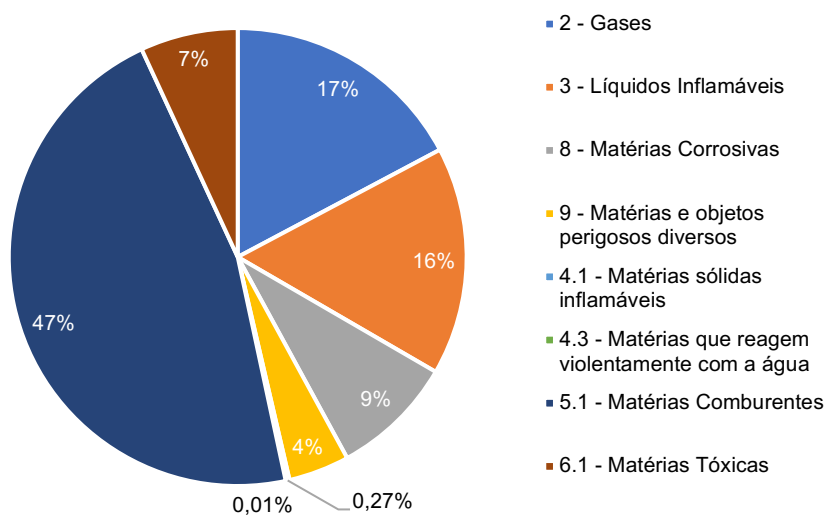


Figura 64. Percentagem de matérias perigosas transportadas por classe RID (2017-2020) | Fonte: SMPC Matosinhos

No que concerne à distribuição por classes das matérias transportadas, a linha de Leixões apresenta algumas particularidades face às estatísticas existentes a nível nacional, desde logo, a predominância das matérias da classe 5.1 – Matérias Comburentes. Entre 2017 e 2019 predominou o transporte de, essencialmente, 2 substâncias comburentes, no caso, peróxidos de hidrogénio em solução aquosa com os números ONU 2014 e 2015. Porém, no ano de 2020, o transporte destas matérias só se verificou até ao mês de fevereiro, tendo, a partir dessa altura,

começado a serem transitadas para um outro terminal ferroviário, o de S. Martinho do Campo. Assim, nesse ano, as estatísticas dos transportes em Leixões aproximaram-se mais da tendência nacional apresentado um domínio nos transportes das matérias inflamáveis seguido das matérias corrosivas, representando, respetivamente, 35% e 26% do total dos transportes. Em 2020, as 5 matérias mais transportadas na Linha de Leixões foram as seguintes (Ver Figura 65):

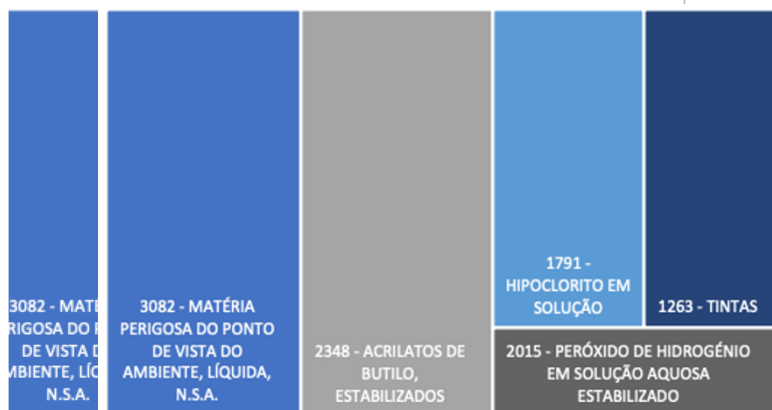


Figura 65. 5 matérias mais transportadas no ano de 2020 | Fonte: SMPC Matosinhos

A matéria mais transportada, o número ONU 3082, pertencente à classe 9, apresentou uma soma total de 950.983 kg no final de 2020, seguido bem de perto pelo número ONU 2348 com 935,4 toneladas, esta já pertencente à classe 3, líquidos inflamáveis. É de notar que o peróxido de hidrogénio com o número ONU 2015 consegue, apesar de não ser movimentado na linha em causa desde fevereiro de 2020, atingir uma soma total de 307,5 toneladas. Os presentes dados revelam assim uma inversão na tendência no domínio das matérias comburentes passando a aproximar-se mais das estatísticas nacionais com a prevalência das matérias inflamáveis e corrosivas. Contudo, reconhecendo a importância da altura do dia nas condições meteorológicas e consequentemente na dispersão de poluentes, foi analisado o esquema de distribuição horária dos transportes efetuados na linha. Decorrente dessa análise, verificou-se que, entre 2017 e 2020, a grande maioria dos transportes ocorreu em dois grandes períodos, entre as 01h00 e as 03h00 e entre as 15h00 e as 18h00, sendo, esta última, a mais expressiva de entre os dois períodos.

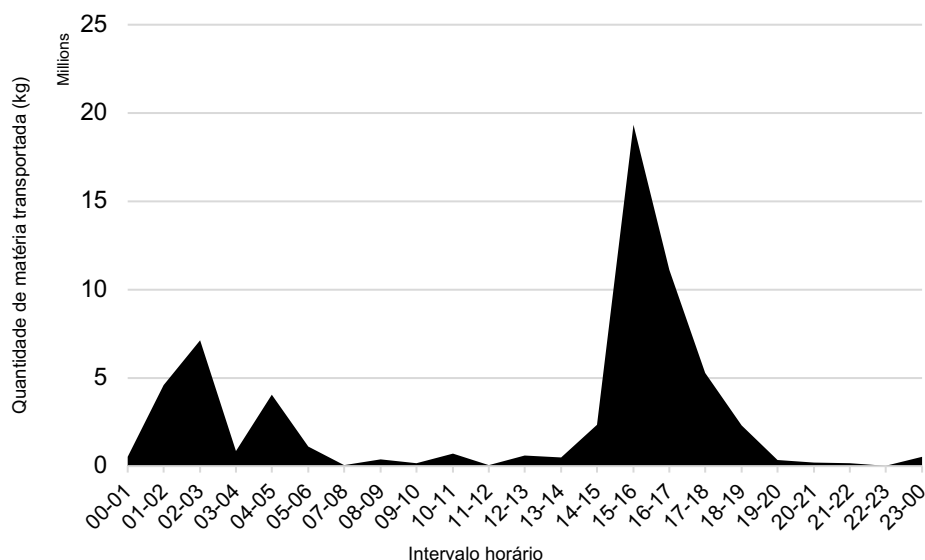


Figura 66. Distribuição horária dos transportes realizados na linha de Leixões entre 2017 e 2020 |  
Fonte: SMPC Matosinhos

Os dados apresentados apontam para uma maior perigosidade, em termos de acidente, para o período diurno entre as 15h00 e as 18h00 uma vez que é o intervalo onde circula uma maior quantidade de matérias perigosas, mas, também, atendendo ao facto de o tráfego rodoviário ser superior no período diurno e aumentar a probabilidade de acidente nas interações entre as infraestruturas rodoviária e ferroviária, sendo este tipo de colisões uma das principais causas de acidentes ferroviários.

#### 4. METODOLOGIA

##### 4.1. INTRODUÇÃO

O propósito do presente estudo, conforme mencionado anteriormente, é aferir a influência das condições meteorológicas na gestão de um acidente ferroviário com matérias perigosas. Para o efeito, após o tratamento prévio de dados efetuado, foram modelados cenários de acidente para uma melhor interpretação e análise espacial dos possíveis efeitos por forma a contribuir para o melhoramento e evolução no planeamento e resposta à emergência. Os cenários foram modelados com recurso ao *software* ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*)<sup>®</sup> e retratam, no presente caso, possíveis cenários da formação de nuvem tóxica.

##### 4.1.1. *Software usado na modelação*

O *Aloha*<sup>®</sup> é um dos *softwares* de livre acesso para modelação de cenários que envolvam matérias perigosas, desenvolvido pela Administração Atmosférica e Oceânica Nacional (NOAA) e pela Agência Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e pode ser usado na área do planeamento e resposta de emergência com a possibilidade de transferência dos dados modelados para ambiente de sistemas de informação geográfica (SIG) ou para o Google Earth. Os *outputs* gerados são representados graficamente como zonas de afetação em diferentes níveis e que implicam níveis distintos de perigosidade. Contudo, o *software* apresenta algumas limitações, nomeadamente, em situações de baixas velocidades do vento (<1,5 m/s), situações de grande estabilidade atmosférica e de grande variabilidade nas direções do vento, topografia e, sobretudo, a biblioteca de matérias disponíveis para serem utilizadas.

#### 4.1.2. **Modelação de dados**

O *Aloha*® requer um conjunto de inserção de parâmetros a vários níveis, nomeadamente, ao nível da localização e respetiva envolvente, hora, data, condições atmosféricas, a matéria perigosa e as suas condições de transporte ou armazenamento bem como o dano provocado em cisternas ou tanques (área de rasgo ou diâmetro de abertura). O local escolhido para a realização das modelações foi semelhante em todas elas, no caso, uma passagem de nível por constituir uma zona de interação entre a rede viária e ferroviária e, por conseguinte, locais de maior probabilidade de acidente, na zona de Esposade, Custóias. Em termos temporais, foi assumido o mesmo dia para as simulações, mas com horários distintos, indo de encontro ao regime de transportes verificado nos pontos anteriores. Modelaram-se cenários para o período de madrugada (02h30) e um outro a meio da tarde (16h30). As simulações realizaram-se considerando que a envolvente dispunha de edifícios que se desenvolviam somente num piso. Em termos de condições meteorológicas, recorreu-se aos dados anteriormente apresentados e adequou-se os mesmos aos períodos temporais considerados. No que concerne à matéria envolvida, optou-se pela escolha do número ONU 2348 – Acrilatos de Butilo estabilizados uma vez que se trata da 2ª matéria mais transportada no ano de 2020 na linha de Leixões e porque a matéria mais transportada desse ano não consta na biblioteca do *Aloha*®. Esta matéria insere-se na classe 3, líquidos inflamáveis, pertence à família química dos ésteres ou álcoois, e é utilizada unicamente em ambientes industriais para sínteses químicas, isto é, serve como monómero na produção de polímeros para camadas de solventes, adesivos, tintas e gesso. Esta, em condições PTN apresenta-se sob a forma líquida e possui um ponto de inflamação relativamente baixo, 37°C. Os limites inferiores e superiores de inflamabilidade também são relativamente baixos, podendo existir ignição se a concentração da matéria, em volume, se encontrar no intervalo entre os 1,5% e os 9,9%. Os seus vapores são muito mais pesados que o ar, tendo a tendência a acumular-se junto do solo. Os maiores riscos associados a esta substância prendem-se à libertação de vapor combustíveis e a sua fácil inflamabilidade [28]. Por último, considerou-se que estas matérias seriam transportadas em cisternas compatíveis com o uso intermodal e comparou-se com as guias de transporte fornecidas pelo SMPC de Matosinhos, tendo-se concluído que as cisternas possuiriam, durante o transporte, cerca de 109.000 litros. Assumiu-se também que a matéria é transportada à temperatura ambiente e, nos casos das fugas esta teria como origem um buraco na cisterna com 1,50 dm<sup>2</sup>. Após a modelação dos cenários, transitou-se a informação gerada para o *Google Earth* onde foi possível verificar as zonas potencialmente afetadas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. MODELAÇÕES

Ao nível da formação das nuvens tóxicas, observam-se diferenças muito significativas relativamente aos períodos noturnos e diurnos. De uma forma expectável, decorrente das direções de vento distintas para os períodos em causa, registam-se direções de propagação de nuvens em consonância com os ventos predominantes de Este, no período da madrugada, e Noroeste no período da tarde. Contudo, os aspetos mais relevantes observados e de especial relevo para a temática da proteção civil são as áreas potencialmente afetadas (APA). Observa-se que as APA das nuvens geradas pelo acidente de madrugada são substancialmente superiores comparativamente ao período da tarde. Tal está intimamente relacionado com as questões meteorológicas, principalmente, a estabilidade atmosférica. Apesar de no período da tarde a instabilidade atmosférica ser maior, podendo contribuir para a propagação por uma maior distância, na verdade, o que se observa é uma maior diluição dos poluentes na atmosfera ao longo do tempo e do espaço, por conseguinte, os níveis de concentração e perigosidade à exposição (AEGL) tornam-se inferiores. A figura e a tabela que se seguem ilustram as diferenças ao nível de áreas potencialmente afetadas nos dois períodos:



Figura 67. Nuvens tóxicas | Fonte: Elaboração própria

As diferenças são visíveis e demonstram-se na Figura 67 e na **Error! Reference source not found.**, tanto ao nível da extensão da própria nuvem como das APA. Na nuvem gerada pelo acidente da madrugada, a distância, em linha reta a partir da fonte, em todas as zonas, é muito superior relativamente à nuvem gerada no período da tarde. Por outro lado, as nuvens geradas de madrugada assumem um carácter muito mais amplo abarcando, naturalmente, um maior número de elementos expostos se comparado com a nuvem gerada durante o período da tarde que assume um formato muito mais afunilado.

## 5.2. COMPARAÇÃO COM O MIEMP

As simulações efetuadas anteriormente foram confrontadas com os dados constantes dos guias de atuação disponibilizados pela ANEPC para a intervenção em acidentes desta natureza. Observou-se que, para a matéria perigosa em questão, são definidas duas áreas distintas, uma área inicial de evacuação e uma zona de evacuação a efetuar consoante a direção do vento. A primeira, possuía uma área de 0.001963 km<sup>2</sup> ao passo que, a segunda, se configurava numa área de 0,07 km<sup>2</sup>, conforme se ilustra na figura seguinte:

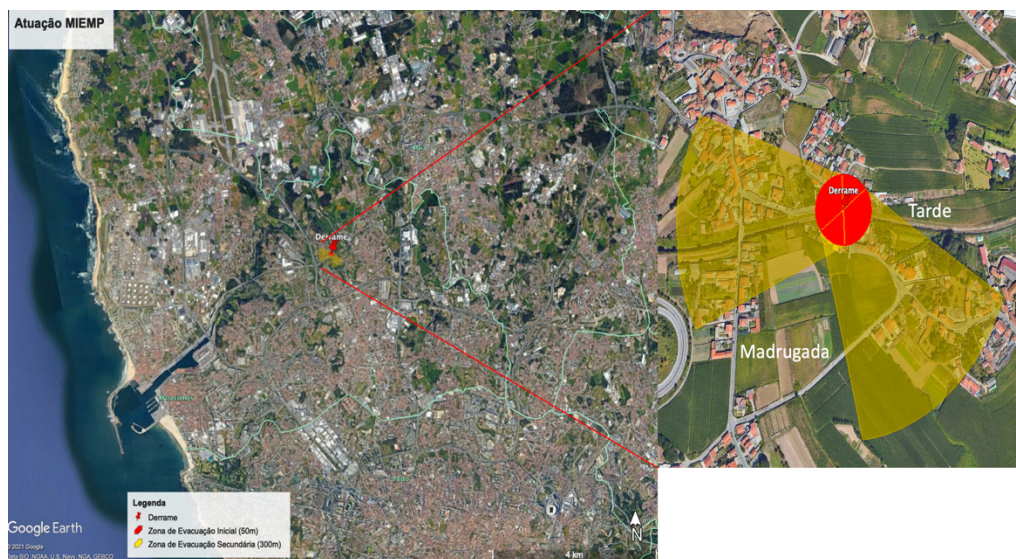


Figura 68. Atuação segundo o MIEMP

Observa-se que, em ambos os casos, as zonas de evacuação inicial ou posterior são idênticas, assumindo um carácter totalmente genérico. Analisando e comparando com os resultados das simulações efetuadas no *Aloha*, verifica-se que as áreas de atuação previstas se desenquadraram totalmente das APA, constituindo tal facto como incongruência ao nível das operações de proteção e socorro. Se atentar-se à zona mais perigosa, a zona vermelha, correspondente a danos que, ao final de 60 minutos, potencialmente originam a morte (AEGL-3), nota-se que as áreas de intervenção inicial previstas no MIEMP não satisfazem nem se aproximam da zona vermelha das simulações. Ora, num acidente desta natureza, numa primeira fase, a prioridade passará sempre pela evacuação das pessoas mais próximas da fonte, logo, a zona AEGL-3 deveria corresponder à zona de evacuação inicial, o que não se verifica, criando um desfasamento entre os possíveis efeitos e APA e a intervenção dos meios de proteção e socorro. A carência de dados mais realistas e aproximados do acidente poderá, dessa forma, induzir em erro os profissionais de socorro e colocar pessoas em perigo. Por outro lado, a evacuação posterior ou de segunda fase, é também relativamente escassa para a complexidade que os cenários produzidos revelam. Uma vez mais, as zonas potencialmente afetadas pelo acidente são incomparavelmente superiores às distâncias a assegurar para a evacuação na direção do vento o que, uma vez mais, pode condicionar a resposta e a eficiência das ações de socorro e proteção civil, sendo esta totalmente desajustada ao cenário apresentado e existente em caso de acidente, com base nos manuais de intervenção.

Tabela 2. APA Aloha em comparação com áreas de atuação MIEMP

<b>Zonas</b>	<b>Madrugada</b>	<b>Tarde</b>	<b>MIEMP</b>
	<b>APA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>APA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Atuação (km<sup>2</sup>)</b>
Vermelha (AEGL 3)	0,43	0,10	0,002
Laranja (AEGL 2)	1,25	0,26	0,07
Amarela (AEGL 1)	11,9	3,33	Não definido
Zona de Confiança	62,5	9,43	Não definido
<b>Total</b>	<b>76,08</b>	<b>13,12</b>	<b>0,072</b>

## 6. CONCLUSÕES

Os acidentes ferroviários com matérias perigosas em Portugal, a ocorrer, apresentarão, naturalmente, um grande desafio operacional e de gestão de emergência tendo em conta o quase inexistente histórico de eventos desta índole no território nacional. Contudo, atendendo às múltiplas atividades e transportes que ocorrem no país, um acidente ferroviário é sempre passível de acontecer pelo que as autoridades competentes terão de se preparar previamente a fim de cumprir todas as etapas do ciclo de gestão de emergência. O presente trabalho incidiu sobre a simulação de um acidente ferroviário com uma matéria perigosa que deu origem à formação de uma nuvem tóxica. As simulações efetuadas e as comparações efetuadas com os guias e manuais de intervenção neste género de eventos, demonstraram que a intervenção “*by the book*” poderá apresentar-se como desajustada e colocar em causa a segurança de operacionais e comunidades, principalmente em troços ferroviários como o da linha de Leixões, que atravessa importantes aglomerados populacionais. Nesse âmbito, a intervenção e o planeamento de emergência, através da elaboração de planos prévios de intervenção (PPI) e de emergência para linhas ferroviárias deverão ser moldados em função das características e vulnerabilidades locais tais como as questões relacionadas com as condições meteorológicas, e elementos expostos mais vulneráveis ou estratégicos. Por outro lado, o presente estudo permitiu reconhecer que o conhecimento destas variáveis e da sua importância na propagação de nuvens tóxicas, deverá também incidir sobre a regulamentação e logística deste tipo de transportes, isto é, para uma maior segurança, as movimentações com matérias perigosas deverá, preferencialmente, realizar-se em períodos diurnos cuja instabilidade atmosférica é superior, contribuindo para uma maior diluição dos elementos nocivos na atmosfera, em caso de acidente envolvendo matérias perigosas. Da análise feita foi também possível concluir que se verifica uma grande diferença entre o cenário simulado com o ALOHA® e o procedimento técnico da ANEPC mostrando as enormes fragilidades na gestão e socorro num acidente deste género.

Por fim, o presente documento deverá constituir-se como um ponto de partida no estudo destas questões sendo de todo pertinente a avaliação e o impacto das questões meteorológicas ao longo do ano, dada a sua variabilidade, bem como noutro tipo de fenómenos como os efeitos térmicos decorrentes de fenómenos como *pool fire* ou BLEVE.

## AGRADECIMENTOS

O primeiro e quarto autores agradecem à Faculdade de Ciências Naturais, Engenharias e Tecnologias da Universidade Lusófona do Porto. O segundo e o terceiro autores agradecem à FCT/MCTES pelo apoio financeiro ao CESAM (UIDP/50017/2020+UIDB/50017/2020) através de fundos nacionais. O quarto autor agradece à Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI) do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC) e à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pela Bolsa de Doutoramento com a referência SFRH/BD/138235/2018 e pelo Projeto MCFire (PCIF/MPG/0108/2017) que permitiram a realização deste trabalho. Os autores manifestam um agradecimento a todos os que forneceram dados, tornando este trabalho possível.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] F. Furtado, "Disruptions in freight transport," no. October, pp. 153–216, 2019.
- [2] W. G. Waters, "Hazardous materials transportation," *A Dictionary of Transport Analysis*, no. 1, pp. 185–187, 2010.
- [3] P. A. R. Martins, "Land transport of goods. The dilemma railways vs highways in Portugal," Oporto Economic College, 2015.
- [4] M. Šolc and M. Hovanec, "Važnost željezničkog prijevoza opasnih tereta," *Nase More*, vol. 62, no. February 2018, pp. 181–186, 2015.
- [5] Instituto Nacional de Estatística, *Estatística de Transportes e Comunicações*, Edição 2019. Lisboa: INE, 2019.
- [6] Autoridade para a Mobilidade e Transporte, "*Ecosistema ferroviário português*," Lisboa, 2018.
- [7] R. D. Jaffin, "Chapter 31 - An All-Hazards Approach to Hazardous Materials," in *The Professional Protection Officer*, 2nd edition., S. J. Davies and L. J. B. T.-T. P. P. O. (Second E. Fennelly, Eds. Boston: Butterworth-Heinemann, 2020, pp. 349–357.
- [8] C. D. C. Santos and H. D. S. Neves, *Matérias Perigosas*, 1ª Edição., vol. IX. Sintra: Escola Nacional de Bombeiros, 2005.
- [9] J. Reis, C. Ribeiro, D. Rodrigues, and A. Rodrigues, "Accident Scenarios Modelling with Hazardous Materials in Transportation Infrastructures," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Forensic Engineering*, pp. 1–12, Jun. 2020.
- [10] R. Kennedy and B. Kirwan, "Development of a Hazard and Operability-based method for identifying safety management vulnerabilities in high risk systems," *Safety Science*, vol. 30, no. 1, pp. 249–274, 1998.
- [11] C. Reis, J. Correia, C. Oliveira, and N. Tomaz, "Accidents on railway lines in Portugal," *Procedia Structural Integrity*, vol. 22, no. 2019, pp. 189–193, 2019.
- [12] Eurostat, ERA, and PORDATA, "Rail accidents: total and by type of accident," *Europe Statistics*, 2020. [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Europa/Acidentes+ferroviários+total+e+por+tipo+de+acidente-2724>. [Accessed: 03-Jun-2020].
- [13] Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC), "Ocorrências em aberto," *Situação Operacional*, 2020.
- [14] M. Madej and M. Pająk, "Road transport of dangerous goods in Poland – Risk analysis," *Promet - Traffic - Traffico*, vol. 31, no. 5, pp. 559–568, 2019.
- [15] R. P. Julião, F. Nery, J. L. Ribeiro, M. Castelo Branco, and J. L. Zêzere, *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal*. ANPC, 2009.
- [16] S. Greiving and M. Angignard, "Disaster Mitigation by Spatial Planning," in *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, vol. 34, 2014, pp. 287–302.
- [17] M. Khanmohamadi, M. Bagheri, N. Khademi, and S. F. Ghannadpour, "A security vulnerability analysis

- model for dangerous goods transportation by rail – Case study: Chlorine transportation in Texas-Illinois,” *Safety Science*, vol. 110, pp. 230–241, 2018.
- [18] ANEPC, *Manual de Intervenção em Emergências com matérias perigosas - Químicas, Biológicas e Radiológicas*, 1ª edição. Lisboa: ANEPC, 2011.
- [19] R. J. Barthelmie, “The effects of atmospheric stability on coastal wind climates,” *Meteorological Applications*, vol. 6, no. 1, pp. 39–47, Mar. 1999.
- [20] D. A. Vallero, “Chapter 14 - Air pollution dispersion models,” D. A. B. T.-A. P. C. Vallero, Ed. Elsevier, 2019, pp. 429–448.
- [21] Z. Sorbjan, “Air pollution meteorology,” Jan. 2003.
- [22] D. Alexander, “Disaster and Emergency Planning for Preparedness, Response, and Recovery,” *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*, no. November, pp. 1–20, 2015.
- [23] J. M. Mendes, A. O. Tavares, L. Cunha, and S. Freiria, “A vulnerabilidade social aos perigos naturais e tecnológicos em Portugal,” *Revista Crítica de Ciências Sociais*, vol. 93, 2011.
- [24] V. Kazantzi, N. Kazantzis, and V. C. Gerogiannis, “Risk informed optimization of a hazardous material multi-periodic transportation model,” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 24, no. 6, pp. 767–773, 2011.
- [25] Instituto Nacional de Estatística, “Census 2011,” Lisboa, 2011.
- [26] A. F. Costa, C. F. Hermenegildo, S. F. Almeida, and V. M. Primo, “Estudo para a reestruturação do socorro em Matosinhos,” Porto, 2014.
- [27] J. Bluett, C. Heydenrych, G. Fisher, T. Freeman, and J. Godfrey, *Good Practice Guide: Atmospheric dispersion modelling*. 2002.
- [28] Sasol, “Ficha de Dados de Segurança - Butyl Acrylate,” 1.02, 2018.

# CONCEPÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE EXTIÇÃO DE INCÊNDIOS POR ÁGUA



**Tiago M. Orantos Borralho** #####  
Mestrando em  
Segurança aos  
Incêndios Urbanos  
UC - Coimbra



**Domingos A. Barbosa Gonçalves**  
Mestrando em  
Segurança aos  
Incêndios Urbanos  
UC - Coimbra



**João Paulo C. Rodrigues**  
Professor  
UC - Coimbra

## SUMÁRIO

Tendo em conta as exigências regulamentares de segurança contra incêndios em edifícios (SCIE), para além da necessidade de instalação de sistemas automáticos de deteção de incêndios e de meios de intervenção manual é, por vezes, necessário dotar os edifícios de sistemas automáticos de extinção de incêndios. Estes sistemas constituem instalações fixas, capazes de minimizar e controlar os danos que possam advir de um eventual incêndio. Apresentam uma grande variedade de componentes, tipologias de instalação e formas de funcionamento, tornando-se por isso fundamental o conhecimento dessas mesmas variantes, de forma a que, dependendo de um conjunto de fatores, relacionados com o local que se pretende proteger, se consiga definir as soluções mais adequadas para cada caso específico. Este artigo sintetiza a composição e o funcionamento destes sistemas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Incêndio; Sprinklers; Extinção Automática; Segurança.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde os seus primórdios, a humanidade teve como um dos pilares impulsionadores para o seu desenvolvimento e sucesso, o domínio do fogo. Tornando-se o uso do fogo, a partir desse momento e até aos dias de hoje, uma ferramenta indispensável ao dia-a-dia do ser humano, desde as simples tarefas quotidianas de confeção de alimentos e aquecimento, até ao uso mais especializado na indústria. Contudo, a acompanhar os benefícios do seu uso, vieram também os danos físicos e materiais que podem ocorrer, pois a barreira que separa um fogo de um incêndio é muito ténue, e o que num momento é algo benéfico e indispensável pode tornar-se num sério problema e levar a perdas incalculáveis tanto a nível de vidas humanas como a nível material e ambiental. Posto isto, com o desenvolvimento tecnológico torna-se fundamental o empenho e investimento na segurança contra incêndio em edifícios, nomeadamente em meios de intervenção e de combate a incêndio, de forma a minimizar os danos causados pelos Incêndios, tornando-se em determinados casos obrigatório a instalação desses meios de acordo com a regulamentação de segurança contra incêndio em edifícios (SCIE) em vigor [1], em função da utilização-tipo e categoria de risco de cada edifício.

---

#####Autor correspondente – Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Rua Luís Reis Santos. Polo II da Universidade. 3030-788 Coimbra. PORTUGAL. e-mail: tiago.borralho@student.dec.uc.pt

Os sistemas automáticos de extinção de incêndio podem-se dividir em dois grupos, aqueles que usam a água como agente extintor e os que utilizam um agente extintor diferente da água, geralmente um agente gasoso. A água é o agente extintor mais utilizado neste tipo de sistemas, por apresentar maior disponibilidade, facilidade no transporte, armazenamento e aplicação, bem como o menor custo, podendo, contudo, em certos tipos de instalações, apresentar limitações relativas às classes de fogo em que pode ser utilizada (podendo nesses casos ser usada com aditivos), assim como provocar corrosão ou danos nos edifícios.

A instalação de sistemas automáticos de extinção de incêndios por água, é normalmente exigível em termos regulamentares em edifícios de maior categoria de risco, geralmente associada a uma volumetria ou uma altura elevada do edifício, ou à presença de uma carga de incêndio elevada, motivos que podem dificultar as operações de combate ao incêndio, pelo que este sistema adquire uma particular relevância para as condições de segurança do edifício. A sua adoção pode também ocorrer como uma medida compensatória de forma a mitigar eventuais não conformidades regulamentares presentes no edifício, ou mesmo, por um requisito do Dono da Obra, como forma de proteção do seu património. Este sistema, graças à sua rápida atuação perante uma situação de incêndio, logo na fase inicial do incêndio (*pré-flashover*), tem como objetivo garantir a extinção ou a circunscrição do incêndio, evitando que o mesmo ganhe proporções elevadas, e contribuindo para a manutenção da integridade da estrutura e permitindo a eficaz extinção do incêndio aquando da chegada dos bombeiros.

## 2. SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE EXTIÇÃO DE INCÊNDIOS POR ÁGUA

O principal efeito da aplicação da água, no combate a incêndios, é proporcionar o arrefecimento, e é tanto mais eficaz quanto mais pulverizada e atempadamente for utilizada. Este é um dos motivos da eficácia dos sistemas automáticos de extinção de incêndios por água utilizando os aspersores (*sprinklers*) na circunscrição do incêndio.

O sistema original de *sprinklers* automáticos foi criado nos finais de 1880, com o intuito de proteger as estruturas dos tetos das fábricas têxteis de New England, as quais eram combustíveis. Os primeiros *sprinklers* projetavam cerca de metade da água para cima de forma a proteger as estruturas, visto ser essa a sua principal função [2]. Este tipo de *sprinkler* manteve-se sem grandes alterações até aos anos seguintes à segunda guerra mundial, quando as mudanças relativas ao tipo de armazenamento, à quantidade e às características dos materiais obrigaram a um repensar quanto modo de atuação dos *sprinklers*. Foi então em 1950 que a *Factory Mutual Research Corporation* (FMRC) desenvolveu um novo tipo de *sprinkler* com a designação de **Spray Sprinkler**, sendo posteriormente em 1955 patenteado por Harry N. Rider [3]. Este tipo de *sprinkler* inova o modo de atuação com o uso de um defletor, projetando assim a água de forma mais difusa, direcionada ao solo e abrangendo uma maior área. Acompanhado pela sua grande eficiência e utilização passa a ser designado como *Standard Sprinkler*, em 1953 pela *National Fire Protection Association* (NFPA).

Este tipo de sistemas é, na generalidade, constituído por: fonte abastecedora de água, central de bombagem, posto de comando (válvula de alarme), dispositivos de alarme, rede de tubagens e *sprinklers*. A água pode ainda ser usada com aditivos (molhantes, viscosificantes, opacificantes, emulsores espumíferos), para classes de fogo nas quais a água isoladamente não é eficaz [4].

### 2.1 Constituição dos sprinklers

Os aspersores ou *sprinklers* têm como função a projeção de água. Estes dispositivos são um elemento fundamental no sistema automático de extinção de incêndios e a sua composição (Figura 69) baseia-se: num **defletor**, que corresponde ao elemento que é posicionado de forma a que no caso de ativação, o jato de água incida diretamente sobre ele, provocando assim uma dispersão da água por toda a área de proteção, encontrando-se este, bem como todos os restantes componentes, fixos ao **corpo** do *sprinkler*, considerado o elemento estrutural do *sprinkler*, é também responsável pela fixação do *sprinkler* à tubagem através de um sistema de fixação roscado. Quanto ao **elemento termossensível ou elemento de deteção** tem como função o bloqueio e posteriormente a libertação do disco obturador, quando atingida a temperatura para o qual foi concebido, por sua vez o **obturador (ou**

**vedante**) corresponde a um pequeno disco, que conforme o nome indica, tem o objetivo de tamponar o orifício de descarga, impedindo assim a passagem do elemento presente nas tubagens, até ao acionamento do dispositivo termossensível, isto no caso dos sistemas fechados.

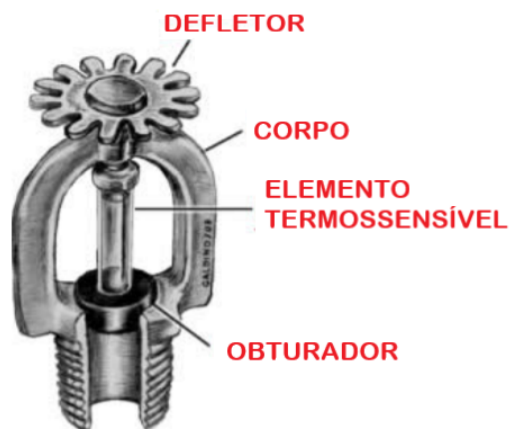


Figura 69 – Composição de um *sprinkler*.

### 2.1.1 Características relativas à descarga

O diâmetro do orifício de descarga, também denominado de calibre do aspersor, influencia diretamente o caudal de água a debitar. A cada calibre está associado um fator de descarga K, que se caracteriza por ser uma constante que depende do tipo de *sprinkler*, da densidade em mm/min e do risco do local. O cálculo do caudal “Q” de um *sprinkler*, está dependente do fator de descarga “K” e da pressão “P”, sendo dado pela equação (1).

$$Q = K \times \sqrt{P} \quad (1)$$

O diâmetro do orifício de descarga apresenta valores nominais indicados no Quadro 4.

Quadro 4 - Diâmetro nominal do orifício de descarga em função do fator de descarga.

Diâmetro nominal [mm]	Tipo de orifício	Classe de risco	Fator de descarga K
10	Pequeno	Ligeiros	57 ± 5 %
15	Médio	Ordinários e graves	80 ± 5 %
20	Grande	Graves	115 ± 5 %

### 2.1.2 Características relativas à temperatura

O fator de temperatura é uma das características que diferem entre os diferentes tipos de *sprinklers* disponíveis no mercado, podendo o elemento termossensível (Figura 70) apresentar dois tipos de configurações, sendo elas: uma **ampola de vidro** a mais utilizada, e conforme o nome indica, corresponde a um pequeno reservatório de vidro, hermeticamente selado, que contém um líquido próprio à base de glicerina, com elevada capacidade de expansão juntamente com uma percentagem de ar, com o aumento da temperatura ocorre a expansão do líquido e conseqüente aumento da pressão interna, resultando na rutura do vidro e por conseqüência a libertação do disco obturador, permitindo assim a passagem da água presente nas tubagens. Por sua vez no **fusível de liga metálica** o obturador é mantido na sua posição por meio de duas alavancas soldadas, solda essa que tem o seu ponto de fusão a temperatura para a qual o dispositivo está projetado, que quando isso ocorre as alavancas libertam-se, e com a pressão da água ou do gás, o obturador é removido do orifício de descarga.

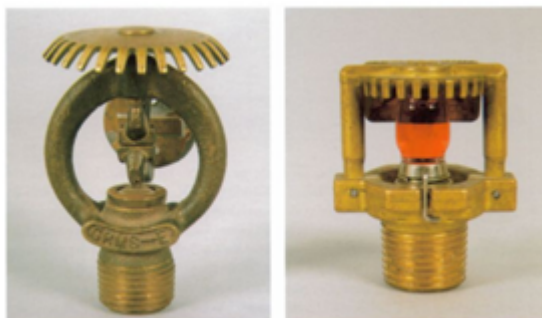


Figura 70 - Dispositivos termossensíveis (liga metálica, ampola de vidro) (adaptado de [5]).

Dentro de cada tipo de mecanismo de atuação, pode-se diferenciar as suas características quanto à sensibilidade térmica e quanto à temperatura de atuação.

A **sensibilidade térmica** diz respeito à velocidade com que o elemento termossensível responde ao aumento da temperatura, sendo os *sprinklers* classificados de acordo com o seu RTI (*Response Time Index*, ou Índice de Tempo de Resposta). O valor do RTI indica o quão rápida é a resposta ao aumento da temperatura, e relaciona a velocidade do ar “V”, com o tempo necessário para elevar a temperatura do elemento termossensível em 63% da temperatura do fluxo de ar quente (fator “τ”), sendo calculado pela equação (2).

$$RTI \equiv \tau \times \sqrt{V} \quad (2)$$

Desta forma, em função do seu RTI, os *sprinklers* podem ser classificados em 3 categorias **resposta normal** (RTI < 80), **especial** (50 < RTI < 80) ou **rápida** (RTI < 50).

A **temperatura de atuação**, corresponde à temperatura à qual o dispositivo vai atuar, sendo as temperaturas normalizadas, existe por isso um código de cores, que relaciona a cor da ampola ou do termofusível com a temperatura de atuação conforme indicado no Quadro 5 e no Quadro 6. Geralmente a escolha da temperatura de atuação é feita através da adição de 30 °C à temperatura máxima esperada para o ambiente onde vai ser colocado; em Portugal devido ao clima temperado, a temperatura mínima considerada é de 68 °C, para locais que não estejam sujeitos a nenhum tipo de ambiente com temperaturas particularmente elevadas.

Quadro 5: Código de cores das ampolas (adaptado de [4]).

Cor	Laranja	Vermelho	Amarelo	Verde	Azul	Violeta	Preto
Temperatura	57 °C	68 °C	79 °C	93 °C	141 °C	182 °C	204 °C

Quadro 6: Código de cores dos termofusíveis (adaptado de [6]).

Cor	Sem cor	Branco	Azul	Amarelo	Vermelho
Temperatura	68/74 °C	93/100 °C	141 °C	182 °C	227 °C

### 2.1.3 Características quanto aos tipos de instalação

Relativamente ao tipo de instalação (Figura 71), os *sprinklers* podem ser classificados como **pendentes** ou **montantes** (também conhecidos por tipo *upright*), para instalações em que o *sprinkler* é colocado verticalmente em relação à tubagem, ficando por baixo da tubagem, no primeiro caso, ou num nível superior no segundo caso. Os *sprinklers* do tipo montante são geralmente utilizados simultaneamente no combate ao incêndio e na proteção de estruturas ao fogo, estando estes direcionados às lajes e vigas, potenciando o arrefecimento permanente dos elementos estruturais pela presença da água. Dentro dos pendentes, e de forma a minimizar o impacto estético, existem também os *sprinklers* **ocultos**, que são embutidos no teto e estão cobertos por uma placa que se solta aquando do acionamento, assim como *sprinklers* de **flush** e **embutidos**, diferenciando-se por no caso do *flush* o corpo, ou parte dele, incluindo o canhão roscado, ser montado acima do plano inferior do teto e ao ser ativo, o

defletor se prolonga para baixo do plano inferior, enquanto que no caso do embutido o corpo, ou parte dele, exceto a rosca, é montado dentro de um invólucro. Existe também a opção de *sprinklers* de **parede ou lateral** que são instalados de modo a formar um ângulo de 90° com o solo, este tipo de *sprinklers* apresentam uma descarga característica de um quarto de esfera.



Figura 71 - Tipos de instalação de *sprinklers* (montante, pendente, parede, embutido e flush)  
(adaptado de [5])

#### 2.1.4 Área de cobertura

A área de cobertura é a área, expressa em metros quadrados, que cada *sprinkler* pode proteger, em função das classes de risco da normativa seguida no dimensionamento, que define também os espaçamentos máximos entre *sprinklers*. Relativamente à disposição dos *sprinklers*, estes podem ser instalados numa disposição **standard**, ou seja, de forma simétrica, ou de forma **intercalada**. Um fator muito relevante a ter em conta no dimensionamento e instalação deste tipo de sistemas são as obstruções, isto é, os *sprinklers* devem ser posicionados de forma a que não fiquem obstruídos por qualquer tipo de elemento (vigas, condutas, divisórias, etc), de modo a não afetar a descarga de água sobre o fogo. Também é necessário de acordo com as normativas, ter em atenção as distâncias aconselhadas em relação aos elementos estruturais verticais como paredes e pilares, sendo para estes a distância máxima os 2 m ou 1,5 m no caso de elementos combustíveis, relativamente à distância ao solo esta deve ser inferior a 12 m e em relação ao teto deve ser instalado numa faixa entre os 76 mm e os 150 mm.

#### 2.1.5 Tipos de sprinklers especiais

Para além dos tipos de *sprinklers* e de sistemas referidos, existem diversas variantes para aplicações especiais, dos quais se destacam, os do tipo **ESFR** (*Early Suppression and Fast Response* / extinção antecipada e resposta rápida), que é na realidade um tipo de *sprinkler* de resposta rápida, destinado à utilização em situações especiais, nomeadamente em armazéns com elevada quantidade de material combustível armazenado. Este tipo de *sprinkler* permite uma descarga de água, ampla e simétrica, conjugada com um jato central de pressão elevada, que consegue penetrar no incêndio, e até levar à sua extinção [7]. Os *sprinklers* de **instalação em estantes de armazenagem**, que conforme o nome indicam são para ser instalados em diversos níveis das estantes, necessitando por isso de uma proteção que evite que a descarga de água proveniente de níveis superiores retarde a sua resposta, por arrefecimento da ampola ou elemento termo sensível. Relativamente aos de **cobertura alargada**, estes apresentam uma maior área de cobertura, devido ao tipo de defletor, podendo esta ser 70 % superior à área de cobertura de um *sprinkler* convencional, contudo essa maior área de cobertura leva a um maior cuidado com as possíveis obstruções à descarga, também o declive do teto deve ser tido em conta verificando as limitações deste tipo de *sprinkler*. No caso dos de **gota gorda**, onde, tal como o nome indica, são produzidas gotas de maior dimensão, devido à especial configuração do defletor bem como ao orifício de descarga de 16 mm, permitindo assim uma maior capacidade de atuação em incêndio com grande carga de combustível [8]. Pode também referir-se os sistemas de **água nebulizada**, que utilizam gotas com diâmetros ordem de 0,1 – 0,01 mm, enquanto os sistemas de *sprinklers* convencionais produzem gotas da ordem de 1 mm, aumentando assim significativamente a área de superfície de contacto das gotas e consequentemente a eficácia do sistema. Os

sistemas de extinção por **espuma**, que têm por base a água como agente extintor, mas à qual é adicionado um espumífero, e que são normalmente utilizados no combate a fogos de combustíveis líquidos.

## 2.2 Tipos de sistemas de sprinklers

Quanto ao tipo de funcionamento destes sistemas a principal distinção ocorre ao nível do tipo de *sprinklers* utilizados, se fechados ou abertos:

### 2.2.1 Sistemas de sprinklers fechados

Nestes sistemas, a descarga de água é feita isoladamente por cada um dos *sprinklers*, os quais estão normalmente fechados, sendo ativados individualmente por meio dos dispositivos termossensíveis. Podem ser do tipo **húmido**, **seco**, **alternado** ou **de pré-ação**. Nos sistemas do tipo **húmido**, os *sprinklers* são instalados numa tubagem com água permanentemente em carga, e a sua atuação acontece por meio da reação dos elementos termossensíveis ao calor libertado pelo incêndio, e consequentemente pela libertação da água provocando a queda da pressão que por sua vez provocará o acionamento da bomba principal de forma automática e por meio de um pressostato. Este é o sistema mais utilizado, tal como indica o estudo da NFPA, onde nos Estados Unidos os sistemas húmidos representam 87% dos sistemas de *sprinklers* contabilizados em fogos de estruturais, enquanto os sistemas secos correspondem a 10% e apenas 3% para outros tipos de instalações [9]. Relativamente aos sistemas do tipo **seco**, a tubagem encontra-se seca, contendo apenas ar ou azoto comprimidos, estando a água a montante da válvula de alarme. A descarga ocorre de forma similar aos sistemas húmidos, em que a ativação é feita por meio do elemento termossensível, mas neste caso é libertado primeiro o gás presente nas tubagens e consequente com a perda de pressão irá através do pressostato iniciar a bombagem da água. Este tipo de sistemas é utilizado para ambientes em que as temperaturas se encontrem fora da escala dos 0°C aos 100°C de forma a preservar as tubagens e manter o sistema em perfeito funcionamento. Nos sistemas **alternados**, é feita a conjugação entre os sistemas húmidos e secos, consoante a época do ano ou a necessidade assim o imponha. Contudo apenas é utilizado em casos extremamente necessários, pois a necessidade de efetuar o enchimento periódico com ar ou azoto comprimidos, obriga a gastos adicionais. Por fim, os sistemas de **pré-ação** caracterizam-se por ter a tubagem seca até à atuação de forma combinada com um sistema automático de deteção de incêndios (SADI), ou com uma linha de deteção, pneumática. São utilizados em situações nas quais não se pretende ter permanentemente água no interior de um determinado compartimento. Esta forma de instalação pode subdividir-se em três subsistemas em função da sua robustez de deteção, sendo eles o sistema **Não interbloqueado**, no qual a sua atuação não está bloqueada, permitindo a entrada de água na tubagem quer por ação do SADI, que aciona o posto de comando, quer por atuação de elemento termossensível de um *sprinkler*. No caso do **Interbloqueado simples**, a tubagem apenas fica em carga por atuação do SADI sobre o posto de comando, passando a partir desse momento a funcionar de forma similar ao sistema húmido, em que será a ação da temperatura a despoletar a descarga de água. Por último no **Interbloqueado duplo**, no qual a tubagem apenas fica em carga quando ambos os sistemas de deteção são atuados (SADI e elemento termossensível), este tipo de sistema funciona em redundância, garantindo uma maior certeza aquando da pressurização da tubagem, sendo utilizado para casos em que um acionamento indevido possa provocar danos avultados.

### 2.2.2 Sistema de sprinklers abertos ou de dilúvio

Neste sistema as tubagens estão secas e são utilizados *sprinklers* permanentemente abertos, ou seja, sem obturador e sem o elemento termossensível, não existindo assim uma ação individualizada para cada *sprinkler*. A sua ativação ocorre por atuação do SADI, ou manualmente, sobre o posto de comando, que vai fazer com que a água flua pela tubagem, e seja distribuída de forma uniforme e simultânea pela rede de *sprinklers* em toda a área de atuação. Neste tipo de sistemas podemos também incluir o sistema complementar de compartimentação ao fogo, tipo **cortina de água**, em que a água é pulverizada através de um sistema de *sprinklers* abertos e dispostos em linha com o objetivo de irrigar um elemento de construção e estabelecer assim um ecrã de proteção contra a energia radiada de um incêndio. São equipamentos apropriados para a proteção de elementos verticais de

construção, nomeadamente elementos de fecho de vãos e outros elementos de compartimentação como por exemplo janelas e portas corta-fogo conferindo-lhe uma maior resistência ao fogo.

### 2.3 Classificação do risco

Para efetuar o dimensionamento de um sistema automático de extinção de incêndios é necessário conhecer os riscos de incêndio previstos para o edifício, de modo definir os critérios de dimensionamento e os equipamentos mais adequados. A classificação do risco é feita essencialmente em função da atividade exercida no local a proteger, do tipo de materiais existentes e do tipo de atividade; esta classificação é feita em função do referencial normativo seguido, sendo os mais comuns a **NP EN 12845** (norma europeia) [10] ou a **NFPA 13** (norma americana) [11].

São classificados pela norma europeia como **Risco ligeiro** (*Light Hazard - LH*) os edifícios não industriais, com baixo risco de incêndio e combustibilidade, nos quais não existem áreas superiores a 126m<sup>2</sup> sem compartimentação ao fogo (resistência ao fogo mínima de 30 minutos), por sua vez a norma americana classifica como **Risco ligeiro** (*Light Hazard Occupancies*) os locais onde a quantidade de materiais é baixa, bem como a sua combustibilidade e o risco de incêndio. O **Risco ordinário** (*Ordinary Hazard - OH*) para a norma europeia são os edifícios industriais e de armazenagem, onde são utilizados materiais com risco médio, de incêndio e combustibilidade. Este grupo de risco divide-se em 4 subgrupos: OH1, OH2, OH3 e OH4, em função da altura de armazenamento, espaços entre cargas, etc. Para a norma americana o **Risco ordinário** (*Ordinary Hazard Occupancies*) divide-se em: grupo 1 para os locais onde a quantidade de materiais é baixa, a combustibilidade é moderada, assim como o risco de incêndio, e grupo 2 para os locais onde a quantidade de materiais é moderada, bem como a sua combustibilidade, mas o risco de incêndio é entre moderado e elevado. O **Risco grave na produção** (*High Hazard Process - HHP*) é utilizado pela norma europeia para edifícios industriais com riscos de combustibilidade e possibilidade de desenvolvimento rápido do fogo. Este grupo de risco divide-se em 4 subgrupos: HHP1, HHP2, HHP3 e HHP4, em função do tipo de materiais utilizados na produção. No caso da NFPA 13 o **Risco grave** (*Extra Hazard Occupancies*) do grupo 1 serve para locais onde a quantidade de materiais é elevada, bem como a sua combustibilidade; local com presença reduzida ou nula de líquidos combustíveis ou inflamáveis, mas em que há um desenvolvimento rápido do incêndio, o grupo 2 refere-se aos locais onde a quantidade de materiais é elevada, bem como a sua combustibilidade; local com presença de líquidos combustíveis ou inflamáveis, e em que há um desenvolvimento rápido do incêndio. Por último e como mais grave a NP EN 12845 classifica como **Risco grave no armazenamento** (*High Hazard Storage - HH<sub>s</sub>*) o armazenamento de produtos em alturas superiores às admitidas para os OH. Este grupo de risco divide-se em 4 subgrupos: HH<sub>s</sub>1, HH<sub>s</sub>2, HH<sub>s</sub>3 e HH<sub>s</sub>4, em função das condições de armazenagem. Quanto à norma americana o risco mais grave é denominado de **Risco pesado** (*Special Hazard Occupancies*) e tem empenho para locais onde é feita a armazenagem de líquidos inflamáveis, combustíveis ou produtos de alta combustibilidade como: borracha, papel, espumas celulares ou materiais comuns com uma altura de armazenagem superior a 3,7 m.

### 2.4 Dimensionamento do sistema e da rede de tubagem

O dimensionamento de um sistema automático de extinção de incêndios pode ser feito através de cálculo hidráulico ou, em situações pontuais, de forma expedita com recurso a tabelas presentes na NFPA 13 ou então na NP EN 12845, nas quais é estabelecido o diâmetro nominal a considerar para a tubagem em função do número máximo de *sprinklers* no mesmo sub-ramal e ramal para uma determinada classe de risco. Este método é geralmente apenas utilizado em edifícios novos com áreas reduzidas ou para fazer alterações ou expansões em redes já existentes. Por outro lado, o dimensionamento por cálculo hidráulico, efetua o cálculo da perda de carga, de modo a garantir uma determinada densidade de descarga no *sprinkler* mais desfavorável. A rede de tubagem que faz a ligação entre o posto de comando e os *sprinklers*, pode ter uma configuração por **derivação de um ramal principal, em anel ou em grelha**. O material da tubagem, necessita de obedecer às normas técnicas podendo ser utilizados diversos materiais sendo o mais utilizado em Portugal o ferro preto ou ferro galvanizado. Quanto à

coloração, esta deve ser de cor vermelha de RAL 3000, e com indicação do sentido de circulação da água, também pode ser necessário aplicar um tratamento anticorrosivo nas tubagens para certos ambientes industriais.

### 3. FONTES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA O SERVIÇO DE INCÊNDIO

O abastecimento de água para o serviço de incêndios deve ser capaz de providenciar uma quantidade de água suficiente para o funcionamento de todos os sistemas de combate a incêndios, de forma simultânea, e durante um período de tempo pré-estabelecido em função da categoria de risco do edifício. Este abastecimento de água pode ser realizado por um ou mais mananciais de água sendo eles: a **rede pública**, geralmente apenas permitida para a alimentação de redes de incêndio armadas do tipo carretel, quando apresenta condições de pressão e caudal suficiente para alimentar esta rede; uma **reserva de água privativa** do serviço de incêndio (RASI), associada a uma central de bombagem de serviço de incêndio, ou em casos muito específicos e excepcionais por **mananciais inesgotáveis**, tais como rios, lagos ou mares. A alimentação a sistemas automáticos de extinção de incêndios deve ter sempre origem numa RASI, com um volume mínimo pré-estabelecido conforme a regulamentação em vigor [12], podendo funcionar em conjunto com o depósito de água de consumo ou de rega, sendo neste caso uma percentagem do depósito dedicada exclusivamente ao serviço de incêndios. Quanto à sua localização em relação ao solo estes podem ser classificados como: **elevados, de superfície, enterrados** ou **semienterrados**. Especificamente para o abastecimento de redes de *sprinklers* podem ainda ser utilizados **reservatórios pressurizados**, desde que cumpram os requisitos regulamentares. Deve ainda ser instalado um sistema com uma união siamesa, que permita o abastecimento da rede através da água proveniente de outros meios como autotanques, bocas-de-incêndio ou marcos de água [12].

### 4. CENTRAL DE BOMBAGEM DE SERVIÇO DE INCÊNDIO

A central de bombagem para serviço de incêndio (CBSI) é para uso exclusivo do socorro e deverá conter todos os equipamentos necessários ao seu funcionamento, controlo e sinalização, designadamente: bombas principal e principal de reserva, bomba equilibradora de pressão (jockey), controladores, válvulas de seccionamento, de retenção e válvulas de alívio de pressão, manómetros, pressostatos, caudalímetro e coletores [13]. As três bombas funcionam de forma interligada, tendo a bomba principal como objetivo, o fornecimento de água às redes de incêndio aquando do acionamento de um pressostato, por redução da pressão nas tubagens. As bombas principal e principal de reserva devem ter características semelhantes, e podem ser elétricas ou de acionamento diesel (motobomba), quanto à sua construção, bem como das peças integrantes, devem respeitar a regulamentação técnica, de forma a serem capazes de resistir ao desgaste e à oxidação. Por sua vez, a bomba jockey deverá ser obrigatoriamente elétrica, e tem como função salvaguardar o acionamento indevido da bomba principal, por perdas de carga residuais, fazendo o equilíbrio da pressão nas tubagens. Quanto à bomba principal de reserva, esta tem o objetivo de substituir o funcionamento da bomba principal, caso ocorra alguma avaria que impeça o seu perfeito funcionamento.

### 5. POSTO DE COMANDO

Pode entender-se como posto de comando, o conjunto de dispositivos com a função de controlo e comando do sistema automático de extinção de incêndios por água, sendo a sua composição variável conforme o tipo de sistema. Relativamente ao sistema húmido, o mais usual, o posto de comando (Figura 72) é constituído por válvula de seccionamento, válvula de retenção, vaso de expansão, sistema de alarme e kit de acessórios. Devido à sua importância para o perfeito funcionamento de todo o sistema é necessário de acordo com as recomendações do fabricante efetuar as verificações semanais, mensais, trimestrais e anuais de forma cuidada e consistente, sendo a anual obrigatoriamente feita por uma entidade especializada.

A **válvula de seccionamento** tem como objetivo permitir ou impedir a passagem da água, relativamente ao sistema húmido. A **válvula de retenção** tem como objetivo permitir a passagem da água apenas num sentido, e deve ser instalada a jusante dos grupos de bombagem, de modo a que com a paragem das bombas o fluxo da água não inverta o sentido. O **vaso de expansão** serve para compensar o aumento da pressão das tubagens,

resultante do aumento do volume que por sua vez é consequência do aumento da temperatura. É utilizado de forma a resguardar a integridade das tubagens. O **sistema de alarme**, tem como função dar o alarme sonoro informando da descarga de água dos *sprinklers*, este alarme é dado devido à circulação da água nas tubagens que por sua vez irá comprimir o ar presente na câmara de retardo acionando o gongo, também devem ser instalados diversos alarmes capazes de informar em caso de anomalia de funcionamento. O **kit de acessórios** inclui diversos elementos, tais como, manómetros, válvulas tipo globo, pressostatos, etc.



Figura 72 - Exemplo de um posto de comando

## 6 CONCLUSÕES

Este artigo efetuou a síntese das principais características associadas aos sistemas automáticos de extinção de incêndios por água, tendo como objetivo servir de apoio na sua definição. Mas, como se verifica, este é um sistema complexo pelo que é fundamental aprofundar o tema, sendo necessária formação, experiência e um conhecimento exaustivo das suas particularidades, para efetuar um adequado dimensionamento ou uma instalação de um sistema deste tipo. Um possível desafio verificado na fase de projeto será a classificação do risco, quando se está a projetar uma instalação ainda sem ocupante definido, pelo que importa realizar uma análise correta e o mais aprofundada possível das condições previstas para o edifício. Como se verifica, a instalação de um sistema deste tipo é de grande eficácia no combate ao incêndio, permitindo o controlo do incêndio logo na sua fase inicial. No entanto, apresenta como desvantagem o custo elevado de instalação. Tendo em conta a recente atualização do RT-SCIE, constata-se que o legislador, possivelmente com uma visão de estímulo económico, entendeu que a sua aplicação, em certos casos, poderia ser suprimida. Este aligeirar de requisitos ocorreu nas utilizações-tipo II e XII (estacionamentos e industriais/armazéns), que correspondem precisamente a dois dos tipos de edifícios onde o combate a um incêndio é mais difícil, normalmente por questões associadas à dificuldade de acesso e à elevada carga de incêndio. De acordo com a experiência dos autores, estes sistemas só são instalados quando constituem uma obrigatoriedade regulamentar, pelo que, do ponto de vista da segurança, estes novos requisitos regulamentares aparentam ser contraditórios com a tendência de apostar neste tipo de sistemas.

## REFERÊNCIAS

- [1] Portaria n.º1532/2008 de 29 de dezembro alterada pela Portaria 135/2020 de 2 de Junho, “Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RT-SCIE)”, República Portuguesa, 2008.
- [2] Cheng Yao. – Overview of Sprinkler Technology Research, Factory Mutual Research Corporation. Norwood, Massachusetts 02062 USA
- [3] Spray Sprinkler, by Rider, H. N. (1955, Nov., 22). Nº da patente [US2724614A]. Available: <https://patents.google.com/patent/US2724614A/>
- [4] Despacho n.º 8953/2020 de 18 de setembro, Nota Técnica n.º 16 -Sistemas Automáticos de Extinção de Incêndio por Água. ANEPC, 2020

- [5] Da Silva, R. J. V. – Dimensionamento de Redes de Sprinklers, Tese de Mestrado, Universidade do Porto, 2012.
- [6] Castro, C. F. de Abrantes,. Manual de Segurança contra Incêndio em Edifícios. Escola Nacional de Bombeiros, Sintra, 2009
- [7] Cheng Yao. – The Development of the ESFR Sprinkler System, Factory Mutual Research Corporation. Norwood, Massachusetts 02062 USA
- [8] Trindade, P. A. D. – Meios de Extinção de Incêndio – Sistemas Automáticos por Água, Tese de Mestrado, Universidade do Porto, 2009.
- [9] Ahrens, Marty. – U.S. Experience with Sprinklers, National Fire Protection Association, Julho de 2017.
- [10] European Committee for Standardization (EN 12845), fixed firefighting systems – Automatic sprinkler systems – design, installation and maintenance, 2009.
- [11] National Fire Protection Association (NFPA 13), Standard for the Installation of Sprinkler Systems, 2007.
- [12] Despacho n.º 8902/2020 de 17 de setembro, Nota Técnica n.º 14 -fontes abastecedoras de água para o serviço de incêndio. ANEPC, 2020
- [13] Despacho n.º 8905/2020 de 17 de setembro, Nota Técnica n.º 15 -Centrais de bombagem para o serviço de incêndio. ANEPC, 2020

# ANÁLISE COMPARATIVA DO RISCO DE INCÊNDIO RURAL COM BASE NO TEOR DE HUMIDADE DOS COMBUSTÍVEIS MEDIDOS EM COIMBRA, VISEU, VIANA DO CASTELO E FARO

Jorge Raposo <sup>1</sup>  
Investigador  
ADAI - Coimbra

Luís Reis  
Investigador  
ADAI - Coimbra

André Rodrigues  
Investigador  
ADAI - Coimbra

Daniela Alves  
Investigador  
ADAI - Coimbra

Xavier Viegas  
Professor  
Universidade de  
Coimbra

Eusébio  
Conceição  
Professor  
Universidade do  
Algarve

David Lucas  
Investigador  
ADAI - Coimbra

## SUMÁRIO

O teor de humidade dos combustíveis florestais é um dos principais factores que estão na origem e na extensão por vezes catastrófica dos incêndios florestais (Viegas *et al.*, 2001). A ADAI tem vindo a desenvolver desde 1987 um programa experimental de medição do teor de humidade de combustíveis florestais finos, característicos da floresta da Região Centro de Portugal. Desde 2019, através do projeto MCFire, a ADAI e os seus parceiros associados, disponibilizam às entidades que intervêm na gestão dos incêndios florestais e ao público em geral, uma nova plataforma com informação e resultados obtidos nas medições do teor de humidade nos vários locais de medição. Este trabalho, resulta numa base de dados única na Europa e com grande aplicabilidade no campo dos incêndios florestais.

Este estudo caracteriza ao longo do ano de 2020 a variação do teor de humidade e consequentemente do risco de incêndio rural com base em medições regulares do teor de humidade dos combustíveis finos mortos nos seguintes locais: Coimbra, Viseu, Viana do Castelo e Faro, realizadas no âmbito do projeto MCFire.

**Palavras-Chave:** Incêndios rurais; Risco de incêndio rural; Segurança; FWI; THC.

## RESUMO ALARGADO

### Introdução

Portugal é um país que frequentemente tem sido flagelado por grandes incêndios rurais, que podem ser caracterizados por um grande nível de destruição de bens materiais. As alterações climáticas causadas pela atividade humana constituem atualmente um dos maiores problemas ambientais à escala global, manifestando-se principalmente por uma tendência de subida da temperatura média da atmosfera à superfície, o seu aumento da frequência e a intensidade de fenómenos meteorológicos extremos.

No futuro breve, numa vasta área do território de Portugal Continental, alguns dos riscos climáticos de maior prioridade e que necessitam de uma resposta urgente, prendem-se fundamentalmente com as secas e ondas de calor, as quais têm uma significativa implicação no aumento do risco e consequência dos Incêndios Florestais (IF). Em Portugal, o ano de 2017 foi excepcionalmente dramático em termos de incêndios florestais uma vez que, houve mais de 100 pessoas mortas, um elevado número de estruturas afetadas e uma área queimada de aproximadamente 500 000 ha. Esta catástrofe ocorreu na sequência de um longo período de elevadas temperaturas e de seca extrema. Este cenário já tinha sido verificado em Portugal em 2003, onde também ocorreu uma onda de calor significativa que atingiu a Europa.

Desta forma, o projeto MCFire pretende contribuir para a investigação dos efeitos das alterações climáticas a nível nacional, nomeadamente no aumento do risco de incêndio florestal e na análise de humidade dos combustíveis florestais mortos.

Um dos principais fatores que determina o risco de incêndio florestal é o teor de humidade dos combustíveis florestais dada a sua influência em praticamente todos os aspetos relacionados com os incêndios florestais, nomeadamente com o potencial, a probabilidade e o tempo de ignição de um combustível, com a ocorrência de incêndios, com a sua propagação, intensidade, extinção e as suas consequências.

Em Portugal, o risco de incêndio dinâmico é dado através do Índice meteorológico de risco de incêndio (FWI) desenvolvido pelos Serviços Florestais Canadianos. Através da utilização deste índice é possível estimar um risco de incêndio a partir da simulação do código do teor de humidade dos diversos combustíveis presentes no solo florestal, sendo este determinado indiretamente através de observações meteorológicas. Salienta-se, no entanto, que este índice foi desenvolvido para a realidade Canadiana e por isso necessita de muita precaução quando utilizado em Portugal.

Este documento apresenta o risco de incêndio rural com base em medições regulares do teor de humidade dos combustíveis finos mortos, durante o ano de 2020 em Coimbra, Viseu, Viana do Castelo e Faro.

### Metodologia

A avaliação do teor de humidade dos combustíveis florestais associada a eventos climáticos extremos revela-se crucial tanto para a caracterização dos eventos extremos como permite melhorar os sistemas de alerta e a caracterização da propagação do fogo nestas condições.

As medições do teor de humidade realizadas em vários locais do território nacional durante todo o ano de 2020 formam uma base de dados significativa que permite um conhecimento profundo das relações entre o risco de incêndio, o teor de humidade e outros parâmetros característicos das espécies florestais e dos locais de medição. As amostras dos combustíveis são recolhidas numa vertente orientada a sul, num povoamento onde se procede à amostragem dos seguintes combustíveis florestais:

- Folhas mortas de *Pinus pinaster* (pinheiro bravo);
- Folhas mortas de *Eucalyptus globulus* (eucalipto);
- Folhas vivas de *Pinus pinaster*;
- Folhas vivas de *Eucalyptus globulus*;
- Folhas e extremidades vivas de *Calluna vulgaris* (urze);
- Folhas e extremidades vivas de *Chamaespartium tridentatum* (carqueja).

As espécies cujas amostras se recolhem são bastante comuns nas florestas portuguesas, bem como noutras zonas mediterrânicas, estando envolvidas na maioria dos incêndios de superfície e de copas (Viegas *et al.*, 1992).

Entende-se por combustíveis vivos, as folhas e as extremidades verdes que ainda se encontram acopladas ao *Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster*, *Calluna vulgaris* e *Chamaespartium tridentatum*. Por outro lado, os combustíveis mortos correspondem às folhas que se encontram no solo e que fazem parte da camada orgânica. A amostragem das espécies referidas anteriormente é realizada com uma periodicidade maioritariamente diária para o período de maior ocorrência de incêndios (Junho a Setembro) e com uma periodicidade semanal, sendo por vezes quinzenal, para o período de menor número de incêndios (Outubro a Maio). A amostragem é efectuada entre as 12 horas e as 13 horas locais. Na amostragem dos combustíveis finos vivos e mortos, utiliza-se uma mala térmica que é transportada ao abrigo do sol. Nos laboratórios, utiliza-se uma balança analítica para pesagem das amostras, uma estufa termostregulada para secagem das amostras bem como um analisador de humidade. Após a recolha dos combustíveis, procede-se à separação e pesagem de 4 amostras de massa igual ( $m_i=5g$ ) para cada tipo de combustível. Estas amostras são colocadas posteriormente numa estufa por um período mínimo de 24 horas a  $105^{\circ}C$ . Após, pelo menos 24h, as amostras são retiradas e procede-se novamente à sua pesagem obtendo-se o peso seco de cada amostra ( $m_s$ ). O teor de humidade para cada amostra ( $m_f$ ) é calculado com recurso à seguinte equação:  $mf=(m_i-m_f)/m_f$  e referido à massa seca ( $mf$ ). Ou seja, o peso seco ( $mf$ ) é obtido após a subtração do peso das caixas de pesagem. O teor de humidade médio diário de uma espécie é a média dos valores das quatro réplicas. O teor de humidade (TH) dos combustíveis finos é expresso em percentagem de peso seco (base seca).

## Resultados

Nesta seção (figura 1, 2, 3 e 4) serão apresentados e discutidos os dados das evoluções do teor de humidade dos combustíveis finos ao longo do ano de 2020 para os locais de amostragem indicados (Lousã, Viseu, Viana do Castelo e Faro).

Na figura 1 é apresentada a evolução do teor de humidade dos combustíveis na Lousã, distrito de Coimbra.

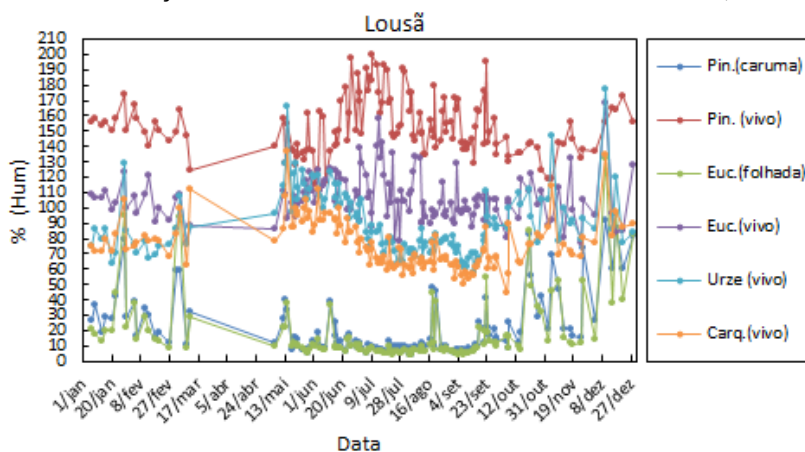


Figura 1. - Evolução do teor de humidade dos combustíveis florestais ao longo do ano de 2020 na Lousã.

Da análise da figura 1 verificamos que o teor de humidade tende a decrescer para os meses Maio a Outubro de 2020. Neste período os valores dos combustíveis finos mortos encontram-se por longos períodos abaixo do valor de 10%, considerando como um valor de transição do comportamento do fogo e o aumento da probabilidade de ocorrência de incêndios. Para além disto foram atingidos valores abaixo dos 5%, o que traduz um risco muito elevado para ocorrência de comportamento extremo do fogo. Os combustíveis “urze e carqueja” tem aproximadamente o mesmo teor de humidade ao longo do ano, assim como a caruma de pinheiro e a folhada de eucalipto. Vemos também que os episódios de chuvas no Verão tem um impacto de rápida alteração (incremento do teor de humidade). Apesar destes valores extremos alcançados, observamos que a área ardida foi inferior aos anos anteriores, tal pode ser explicado pelas medidas tomadas na prevenção e combate a incêndios, bem como o efeito do confinamento devido à pandemia da COVID-19 o que limita atividades que possam conduzir a ignições.

Também existe no gráfico uma zona de não amostragem de Março a Abril devido ao efeito da Pandemia, não sendo permitida a atividade amostragem.

De seguida iremos analisar o mesmo indicador, para o local de amostragem de Viseu.

Verificamos que no local de amostragem em questão, os combustíveis finos mortos apresentaram inicialmente (janeiro a março) variações muito mais frequentes associadas a episódios de chuva. Contudo apresenta uma época de baixos valores de teor de humidade, muito semelhante ao observado na Lousã. Assim como, no caso da análise do teor de humidade na Lousã, a evolução dos combustíveis “urze e carqueja”, caruma de pinheiro e folhada de eucalipto, ao longo do ano, tem aproximadamente o mesmo valor.

Na figura é apresentado um período sem resultados (março a maio) de amostragem devido ao efeito da Pandemia COVID-19, não sendo permitida a atividade amostragem.

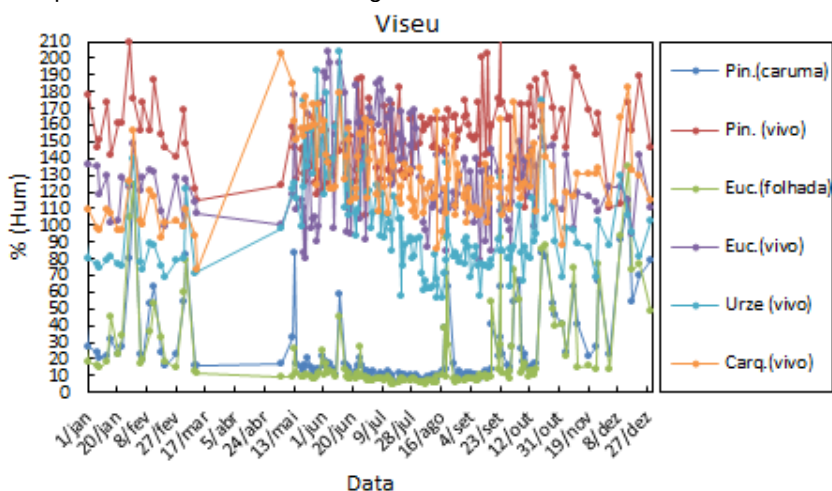


Figura 2. - Evolução do teor de humidade dos combustíveis florestais ao longo do ano de 2020 em Viseu.

Na figura 3 é apresentada a evolução do teor de humidade para os combustíveis recolhidos no local de Viana do Castelo.

Neste local, a análise do teor de humidade dos combustíveis apenas foi iniciada em junho e terminada em setembro, devido a indisponibilidade de recursos humanos para realizar a recolha dos combustíveis. No entanto, nos meses com maior probabilidade de seca e com isso de ocorrência de incêndio foi possível obter dados dos combustíveis florestais.

Tal como verificado nos locais anteriores, a evolução dos combustíveis “urze e carqueja”, caruma de pinheiro e folhada de eucalipto, ao longo do ano, tem aproximadamente o mesmo valor.

Na figura é possível ainda verificar que existem dias em que o teor de humidade aumentou de forma rápida. Este aumento está associado a episódios de chuva. No entanto, no período em análise é apresentado valores baixos de teor de humidade, muito semelhante ao observado na localidade da Lousã e Viseu

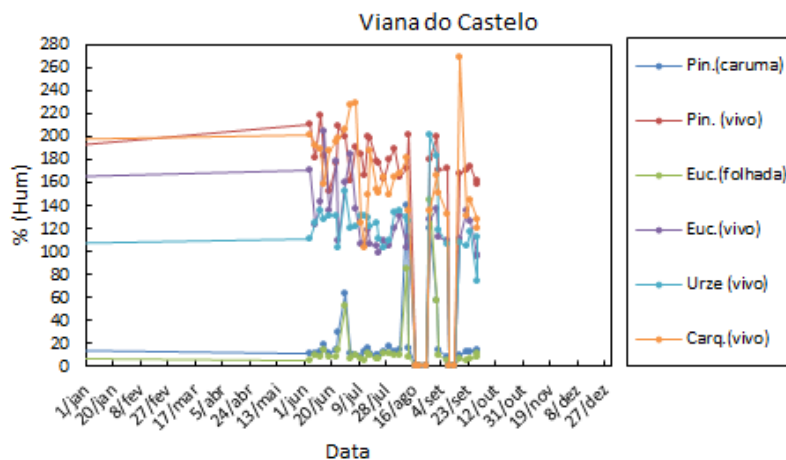


Figura 3. - Evolução do teor de humidade dos combustíveis florestais ao longo do ano de 2020 em Viana do Castelo.

Na figura 4 é apresentada a evolução do teor de humidade em Faro.

Neste local foram recolhidos caruma de pinheiro, folhada de pinheiro vivo e folhada de eucalipto, tal como nos locais anteriores analisados. No entanto, devido a ser um local com menor predominância dos combustíveis urze, carqueja e de existir alguma dificuldade na recolha de folhada eucalipto vivo, foram recolhidos outros combustíveis com maior frequência nesta área. Esses combustíveis são a folhada de pinheiro manso e a esteva.

Uma vez mais, na figura 4 é apresentado um período sem resultados (março a maio) de teor de humidade devido ao efeito da Pandemia COVID-19, na qual não foi permitida a atividade de amostragem.

Da análise dos combustíveis florestais em Faro é possível verificar que o pinheiro manso tem a mesma evolução do que a caruma de pinheiro e a folhada de eucalipto. No caso da

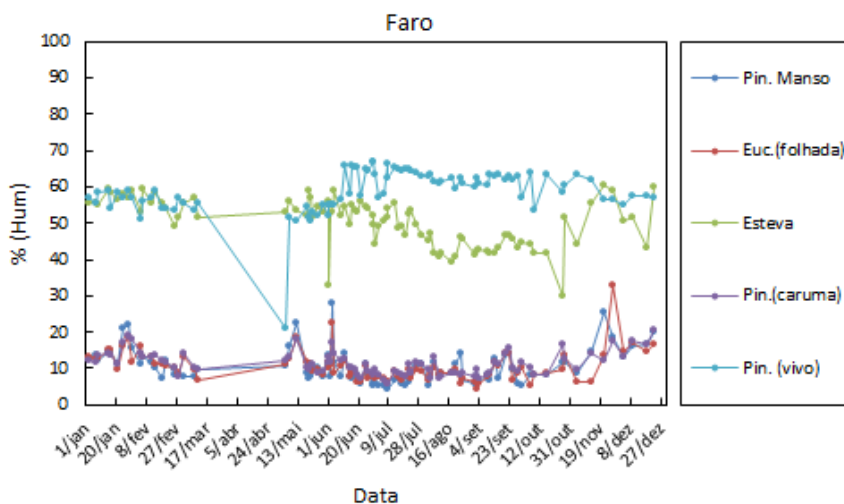


Figura 4. - Evolução do teor de humidade dos combustíveis florestais ao longo do ano de 2020 em Faro.

## Conclusões

Ao analisar as figuras anteriores é possível concluir que os combustíveis pinheiro e eucalipto mortos têm aproximadamente o mesmo comportamento (Pinheiro caruma com Eucalipto folhada).

Os meses de junho a outubro apresentam valores de teor de humidade de combustíveis finos mortos inferior a 10%, calor para o qual o risco de incêndio é elevado e como tal, são os meses mais críticos para a ocorrência de

incêndios, independentemente do local de recolha/análise. O estudo realizado no ano de 2020 permitiu identificar casos onde o teor de humidade dos combustíveis finos mortos registou por diversas vezes valores abaixo dos 5%. Os dias em que o teor de humidade dos combustíveis finos mortos registou valores muito baixos apresentaram maiores ocorrências de incêndios.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI) do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC) e ao Projeto MCFire (PCIF/MPG/0108/2017) que permitiram a realização deste trabalho. O terceiro autor agradece à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pela Bolsa de Doutoramento com a referência SFRH/BD/138235/2018.

Os autores manifestam um agradecimento a todos os que forneceram dados, tornando este trabalho possível.

## **Referências bibliográficas**

- Boer, M. M., Nolan, R. H., Resco De Dios, V., Clarke, H., Price, O. F., & Bradstock, R. A. (2017). Changing Weather Extremes Call for Early Warning of Potential for Catastrophic Fire, *Earth's Future*, 5, 1196–1202, <https://doi.org/10.1002/2017EF000657>
- Viegas, D.X.; Piñol, J.; M.G.; Viegas, M. T.; Ogaya, R. (2001). Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices. *International Journal of Wildland Fire* 10(2): 223-240.
- Viegas, D.X.; Reis, R.M; Cruz, M.G.; Viegas, M. T. (2004). Calibração do sistema Canadano de perigo de incêndio para aplicação em Portugal. *Silva Lusitana* 12(1): 77-93
- Lopes, S. M. G. (2005). Estudo do Teor de Humidade de Combustíveis Florestais Finos na Lousã no Período entre 1996 e 2004. DEM/FCTUC/UC.

## RESISTÊNCIA AO FOGO DE VIGAS-COLUNA COM SECÇÕES ELÍTICAS OCAS ESBELTAS EM AÇO INOXIDÁVEL



**Flávio Arrais** §§§§§§  
Inv. Doutorado  
RISCO/DECivil  
Univ. de Aveiro



**Nuno Lopes**  
Prof. Associado  
RISCO/DECivil  
Univ. de Aveiro



**Paulo Vila Real**  
Prof. Catedrático  
RISCO/DECivil  
Univ. de Aveiro

### SUMÁRIO

O aço inoxidável apresenta vantagens quando comparado com o aço carbono convencional. A resistência à corrosão e a aparência estética são as mais conhecidas. Porém, o seu melhor desempenho a altas temperaturas também pode ser importante no dimensionamento de estruturas. Neste estudo apresenta-se uma análise numérica sobre o comportamento de elementos em aço inoxidável a temperaturas elevadas, com secções elíticas ocas (EHS) esbeltas sujeitos a flexão composta com compressão. As capacidades últimas foram obtidas através de um programa de elementos finitos, com análises material e geometricamente não lineares (GMNIA), e comparadas com as prescrições do Eurocódigo 3 (EC3), avaliando a sua segurança e precisão. Concluiu-se que a atual metodologia do EC3 é conservativa para secções EHS, existindo ainda espaço para a sua melhoria na previsão da resistência ao fogo destes elementos.

**PALAVRAS-CHAVE:** resistência ao fogo; aço inoxidável; secções elíticas ocas; vigas-coluna; análise numérica.

### 1. INTRODUÇÃO

A aplicação do aço inoxidável como material estrutural tem aumentado devido a diferentes características, como resistência à corrosão e a aparência estética [1,2]. Apesar de ter um elevado custo inicial, o aço inoxidável pode ser um material competitivo na análise do custo do ciclo de vida, devido à sua baixa necessidade de manutenção. Além disso, possui maior resistência ao fogo quando comparado ao aço carbono [3]. A classe do aço inoxidável austenítico é geralmente a mais utilizada para aplicações estruturais, mas recentemente, devido a vantagens específicas, tem-se despertado algum interesse em aumentar o uso de aços do grupo dos ferríticos e austenítico-ferríticos (Duplex) para os mesmos fins. Algumas das vantagens são a maior resistência mecânica, ao desgaste e à corrosão, da classe dos duplex, e a menor percentagem de níquel presente na composição química nos aços ferríticos reduzindo assim os seus preços. As aplicações do aço inoxidável em estruturas podem variar desde edifícios de diferentes tipologias a torres, suportes de cobertura e pontes (pedonais e rodoviárias) [1,4-6].

Perfis com secções EHS integram os atributos arquitetónicos das secções circulares ocas (CHS) e as vantagens estruturais das secções retangulares ocas (RHS). Estes apresentam melhor comportamento à torção do que os perfis abertos e, devido à sua forma, maior resistência à flexão quando comparados com os perfis CHS. Assim, a utilização de perfis EHS em aço inoxidável destaca-se como uma opção interessante de projeto. Estudos recentes de vigas-coluna em aço inoxidável, em situação de incêndio, têm-se centrado em perfis I [7] ou perfis com secções

§§§§§§ Autor correspondente – RISCO, Dep. de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal  
email: arrais.f@ua.pt <http://www.ua.pt/risco>

quadradas ocas (SHS) e CHS [8,9], existindo ainda algum desconhecimento sobre o comportamento ao fogo de vigas-coluna em aço inoxidável com secções EHS.

No presente estudo é apresentada uma análise numérica paramétrica, com o objetivo de avaliar a precisão e segurança das fórmulas de cálculo ao fogo do EC3 para elementos em aço inoxidável submetidos à flexão composta com compressão com secções EHS esbeltas. A recente proposta de cálculo para vigas-coluna em aço carbono de Classe 4 [10], que resultou de um projeto de investigação europeu FIDESC4 [11] e será incluída na nova geração da Parte 1-2 do EC3, também é avaliada. O estudo paramétrico considera diferentes: i) tipos de aços inoxidáveis (austenítico, ferrítico e austenítico-ferrítico); ii) esbeltezas do elemento (de 0,15 a 2,00); iii) esbeltezas da secção; iv) diagramas de momento fletor (uniforme, triangular e bi-triangular); e v) temperaturas elevadas (350 °C a 700 °C).

## 2. MÉTODOS DE CÁLCULO SIMPLIFICADOS DE DIMENSIONAMENTO AO FOGO

### 2.1 Parte 1-2 do EC3

Segundo a EN 1993-1-2 [3], a resistência ao fogo de elementos em aço inoxidável é calculada com o mesmo procedimento desenvolvido para os elementos em aço carbono, alterando apenas as propriedades mecânicas do material. Relativamente à classificação da secção transversal, foi considerada a Eq. (1) para calcular o parâmetro  $\varepsilon_\theta$ , necessário para a determinação dos limites de classificação do EC3 [12]. Os limites correspondentes são fornecidos no Quadro 1.

$$\varepsilon_\theta = 0,85 \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E}{210000} \right]^{0,5} \quad (1)$$

Quadro 7: Limites recomendados para a classificação de secções EHS [13]

Classificação da secção	$D_e/t \varepsilon_\theta^2$
	Flexão e compressão
Classe 1	50
Classe 2	70
Classe 3	$\frac{2520}{5\psi + 23}$

As fórmulas de interação de vigas-coluna em caso de incêndio da EN 1993-1-2 [3] foram desenvolvidas com base em elementos em aço carbono com secções I de Classes 1 e 2 [14]. Foram utilizadas as fórmulas propostas para vigas-colunas restringidas lateralmente e sujeitas à flexão em torno do eixo principal.

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A_{eff} f_{y,\theta} / \gamma_{M,fi}} + k_y \frac{M_{y,fi,Ed}}{W_{eff,y} f_{y,\theta} / \gamma_{M,fi}} \leq 1 \quad (2)$$

O valor de  $\chi_{y,fi}$ , coeficiente de redução para a encurvadura em situação de incêndio, pode ser obtido de acordo com a seguinte Eq. (3):

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\phi_\theta + \sqrt{\phi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}} \quad (3)$$

com

$$\phi_\theta = \frac{1}{2} \left[ 1 + \alpha \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2 \right] \quad (4)$$

em que  $\alpha$  é o fator de imperfeição dado por:

$$\alpha = 0,65 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (5)$$

No caso de toda a secção transversal estar sujeita a temperatura uniforme, o valor da esbelteza adimensional normalizada  $\bar{\lambda}_\theta$  é dado pela Eq. (6):

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} \quad (6)$$

onde  $k_{y,\theta} = k_{0,2p,\theta}$  para secções de Classe 4, e  $k_{E,\theta}$  é o fator de redução para a inclinação da reta que representa o domínio elástico à temperatura do aço  $\theta_a$  atingida no instante  $t$ . A esbelteza normalizada à temperatura normal,  $\bar{\lambda}$ , é dada pela Eq (7):

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad (7)$$

onde a área efetiva ( $A_{eff}$ ) deve ser considerada em vez da área bruta da secção transversal para secções da Classe 4 e  $N_{cr}$  é o valor da carga crítica de Euler. O valor da área efetiva ( $A_{eff}$ ) é calculado segundo a proposta de Chan e Gardner [15] para secções elíticas ocas:

$$A_{eff} = A \left[ \frac{90}{D_e/t} \frac{235}{f_y} \right]^{0,5} \quad (8)$$

com o diâmetro equivalente  $D_e = 2a^2/b$  e as variáveis representadas na Figura 1.

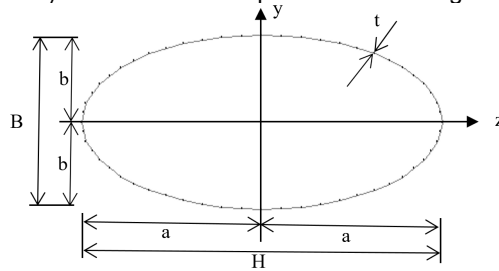


Figura 1: Geometria de uma secção elítica oca

O fator de interação  $k_y$  recomendado para secções transversais de Classe 4 é:

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A_{eff} k_{0,2p,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3 \quad (9)$$

sendo  $\mu$  (para o eixo forte) dado por:

$$\mu_y = (2\beta_{M,y} - 5)\bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44\beta_{M,y} + 0,29 \leq 0,8 \quad (10)$$

Com  $\bar{\lambda}_{y,20^\circ\text{C}} \leq 1,1$  e  $\beta_{M,y}$  em função da forma do diagrama de momentos obtido com:

$$\beta_{M,y} = 1,8 - 0,7\psi \quad (11)$$

e  $\psi$  é a relação entre os momentos nas extremidades do elemento ( $-1 \leq \psi \leq 1$ ).

## 2.2 Proposta para vigas-coluna em aço carbono restringidas lateralmente em situação de incêndio

Couto et al. [10] apresentaram uma nova proposta baseada nas fórmulas da EN 1993-1-2 para vigas-colunas em aço carbono em situação de incêndio, com a tensão correspondente a uma extensão total de 2% como tensão de cedência  $f_{2,\theta} = k_{2,\theta} f_y$  e alterando o fator de interação  $\mu_y$ :

$$\mu_y = (2\beta_{M1,y} - 5)\bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44\beta_{M2,y} + 0,7 \leq 0,6 \quad (12)$$

com  $\bar{\lambda}_{y,20^\circ\text{C}} \leq 1,1$  e  $\beta_{M1,y} = \beta_{M2,y} = \beta_{M,y}$ , uma vez que apenas são aplicados momentos nas extremidades neste trabalho.

$$\beta_{M,y} = 1,8 - 0,9\psi \quad (13)$$

### 3. CASOS DE ESTUDO E MODELAÇÃO NUMÉRICA

No presente estudo foram analisadas seis secções EHS de Classe 4 com diferentes dimensões e relações H/B (sendo  $H=2a$  e  $B=2b$ , Figura 1) segundo o eixo forte, como se elencam no Quadro 2. Os comprimentos variam entre 1 m e 10 m de forma a abranger um intervalo de diferentes esbeltezas ajustado (entre 0.15 e 2.00). As classes de aço inoxidável usadas foram 1.4301 (austenítico também conhecido como 304), 1.4401 (austenítico também conhecido como 316), 1.4003 (ferrítico) e 1.4462 (austenítico-ferrítico também conhecido como Duplex) submetidas às temperaturas uniformes elevadas de 350 °C, 600 °C e 700 °C. A temperatura de 350 °C corresponde à temperatura crítica recomendada para perfis com secções de Classe 4 quando não é realizado nenhum cálculo e as restantes representam as temperaturas críticas características neste tipo de elementos estruturais. Foram estudados diferentes diagramas de momento fletor (não uniforme,  $\psi = -1$  e 0, e uniforme,  $\psi = 1$ ).

Quadro 8: Secções EHS analisadas e respetivas dimensões

Designação	H [mm]	B [mm]	t [mm]	H/B [-]
EHS_140x85x2.0	140	85	2.0	1.65
EHS_150x75x2.0	150	75	2.0	2.00
EHS_200x100x2.5	200	100	2.5	2.00
EHS_200x100x4.0	200	100	4.0	2.00
EHS_300x150x4.0	300	150	4.0	2.00
EHS_150x50x3.0	150	50	3.0	3.00

O estudo paramétrico foi realizado com recurso ao programa de elementos finitos SAFIR [16], considerando elementos de casca com quatro nós e seis graus de liberdade por nó (três translações e três rotações). As condições de apoio de simplesmente apoiado foram aplicadas em ambas as extremidades, impedindo os deslocamentos laterais do eixo zz ao longo do comprimento do elemento, e no meio vão evitando o deslocamento longitudinal (eixo xx) para garantir a simetria do elemento e da carga. As cargas foram aplicadas paralelamente ao eixo do elemento nas extremidades do modelo distribuídas pela superfície das placas de extremidade (Figura 2) que estão à temperatura normal e possuem 10x a espessura da secção do elemento.

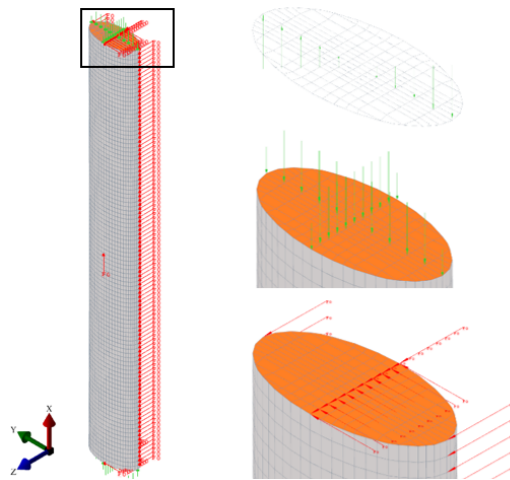


Figura 2: Modelo numérico com pormenor dos apoios e carregamentos nas extremidades

As imperfeições geométricas foram introduzidas no modelo numérico com a forma dos modos de encurvadura obtidos com o programa CAST3M [17] (aplicando a interface RUBY [18]) conforme apresentado na Figura 3. Para a amplitude das imperfeições locais considerou-se 80% de  $(H \text{ ou } B)/100$  e para as imperfeições globais 80% de  $L/750$ , de acordo com o Anexo C da EN 1993-1-5 [19] e as tolerâncias de fabrico descritas em D.1 do Anexo D da EN 1090-2+A1 [20] e EN 10219-2 [21]. Seguindo as recomendações da EN 1993-1-5, foi introduzida a combinação das imperfeições geométricas anteriormente enunciadas, onde é necessário escolher uma imperfeição de base (a que confere menor valor de resistência ao elemento) à qual se adicionam as restantes com os seus valores reduzidos para 70% do seu valor total.

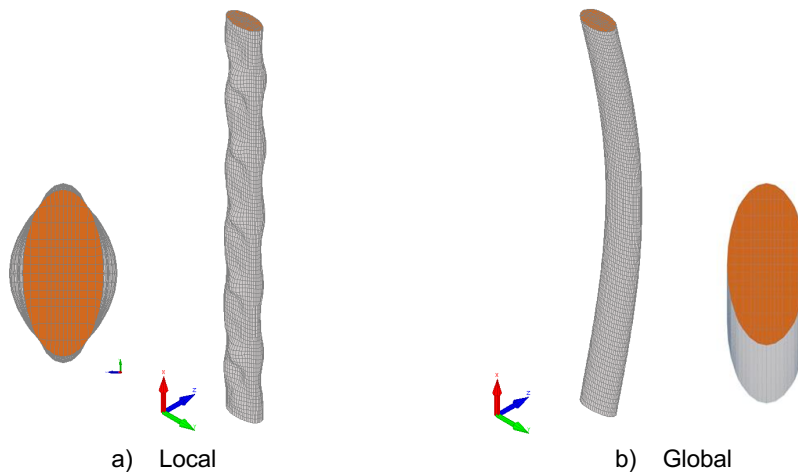
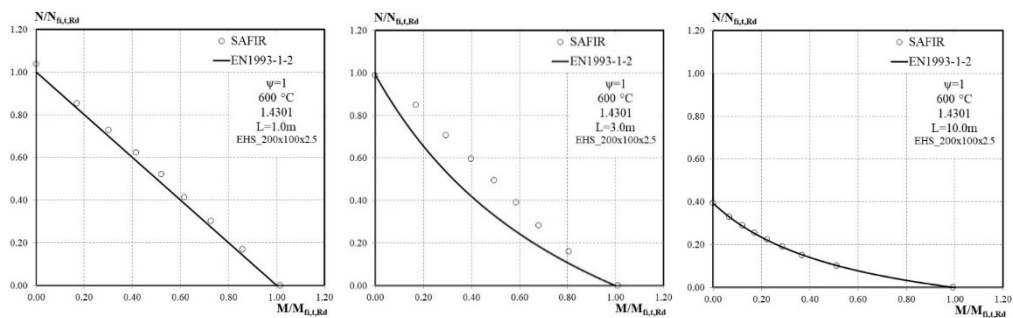


Figura 3: Imperfeições geométricas a) locais e b) globais amplificadas de elementos EHS

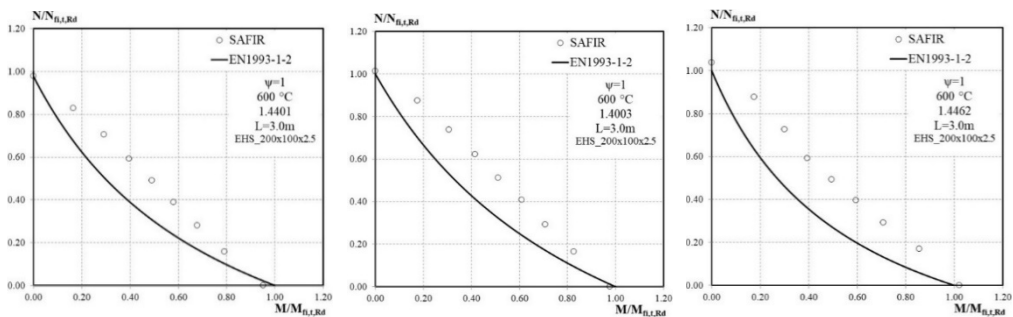
#### 4. ANÁLISE PARAMÉTRICA E VALIDAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE CÁLCULO

Com o objetivo de compreender o comportamento ao fogo das vigas-coluna EHS em aço inoxidável, as Figuras 4-6 ilustram a influência de cada parâmetro nas curvas de interação, analisando a precisão do EC3, denominado por “EN 1993-1-2”. Para uma melhor comparação com as curvas de interação, foi considerado o coeficiente de redução para a encurvadura em função dos valores numéricos da resistência à compressão axial de colunas.



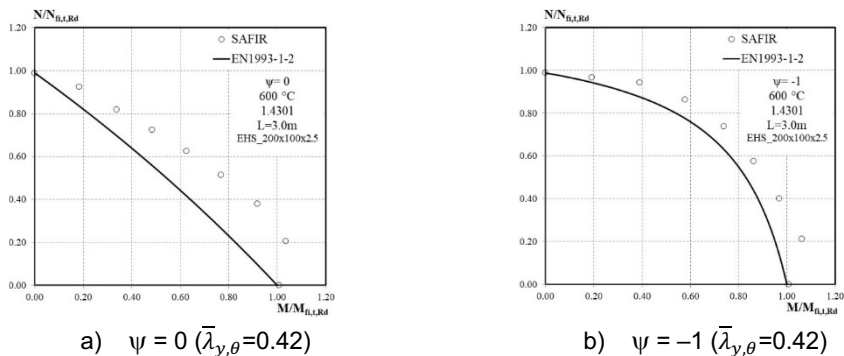
a)  $L = 1\text{ m}$  ( $\bar{\lambda}_{y,\theta}=0.15$ )      b)  $L = 3\text{ m}$  ( $\bar{\lambda}_{y,\theta}=0.42$ )      c)  $L = 10\text{ m}$  ( $\bar{\lambda}_{y,\theta}=1.41$ )

Figura 4: Comparação das curvas de interação da EN 1993-1-2 com os resultados numéricos para vigas-coluna de diferentes comprimentos a 600 °C, para o aço inoxidável do tipo 1.4301



a) 1.4401 ( $\bar{\lambda}_{y,\theta}=0.46$ )      b) 1.4003 ( $\bar{\lambda}_{y,\theta}=0.39$ )      c) 1.4462 ( $\bar{\lambda}_{y,\theta}=0.49$ )

Figura 5: Comparação das curvas de interação da EN 1993-1-2 com os resultados numéricos para vigas-coluna de diferentes tipos de aço a 600 °C, para o comprimento de 3 m



a)  $\psi = 0$  ( $\bar{\lambda}_{y,\theta}=0.42$ )      b)  $\psi = -1$  ( $\bar{\lambda}_{y,\theta}=0.42$ )

Figura 6: Comparação das curvas de interação da EN 1993-1-2 com os resultados numéricos para vigas-coluna de diferentes diagramas de momento a 600 °C, para o comprimento de 3 m

Pelos gráficos da Figura 4, é visível a influência da esbelteza do elemento na forma da curva de interação e nos resultados numéricos que devem ser reproduzidos pelas fórmulas de dimensionamento. Nos resultados da Figura 5 concluiu-se que o comportamento de interação observado não apresentou mudanças significativas em função do tipo de aço considerado. Na Figura 6 os resultados para os momentos não uniformes apresentam uma resistência maior quando comparados aos resultados considerando o momento uniforme ( $\psi = 1$ ). Na Figura 7 estão apresentados diferentes modos de colapso obtidos com o programa SAFIR para os diferentes diagramas de momento analisados.

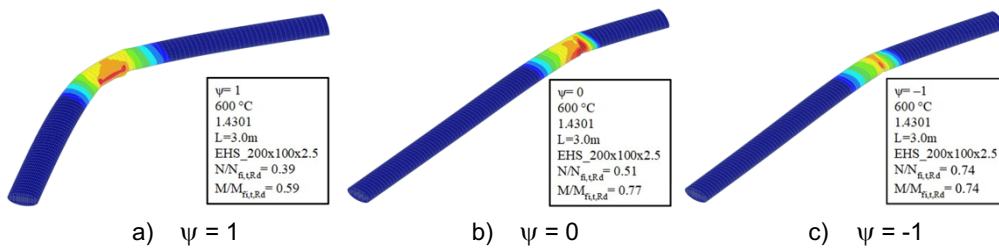


Figura 7: Modos de colapso para vigas-colunas com 3 m de comprimento submetidas a diferentes diagramas de momento para o aço 1.4301: a)  $\psi = 1$ , b)  $\psi = 0$  e c)  $\psi = -1$

Para uma análise pormenorizada dos resultados numéricos obtidos, foi realizada uma avaliação estatística das diferentes metodologias de cálculo consideradas, seguindo os três critérios de validação propostos por Kruppa [22]. O Quadro 3 apresenta os resultados estatísticos para secções EHS esbeltas considerando as curvas de interação da EN 1993-1-2 e o Quadro 4 a mesma avaliação estatística mas tendo em conta a proposta de cálculo de Couto et al. [10]. O número de simulações numéricas consideradas é de 5832 análises. As Figuras 9 e 10 representam graficamente a análise estatística.

Quadro 9: Avaliação estatística das curvas de interação da EN 1993-1-2

EN1993-1-2	Austenítico				Ferrítico				Duplex			
	$\mu$	s	Máx. Ins.	% Ins.	$\mu$	s	Máx. Ins.	% Ins.	$\mu$	s	Máx. Ins.	% Ins.
$\psi = 1$	0.92	0.21	1.25	28.32	0.94	0.19	1.26	37.34	0.84	0.25	1.25	30.80
$\psi = 0$	0.86	0.11	1.05	10.20	0.89	0.10	1.06	9.74	0.88	0.13	1.05	7.47
$\psi = -1$	0.93	0.17	1.15	29.59	0.94	0.11	1.15	26.30	0.96	0.14	1.16	39.94

Quadro 10: Avaliação estatística das curvas de interação da proposta de Couto et al. [10]

Couto et al. [10]	Austenítico				Ferrítico				Duplex			
	$\mu$	s	Máx. Ins.	% Ins.	$\mu$	s	Máx. Ins.	% Ins.	$\mu$	s	Máx. Ins.	% Ins.
$\psi = 1$	0.98	0.29	1.79	24.24	1.01	0.36	1.79	57.79	1.12	0.25	1.79	52.60
$\psi = 0$	1.06	0.25	1.80	49.49	1.04	0.25	1.80	47.40	1.11	0.26	1.80	55.20
$\psi = -1$	1.02	0.21	1.66	45.15	0.98	0.22	1.56	44.81	1.01	0.21	1.52	36.36

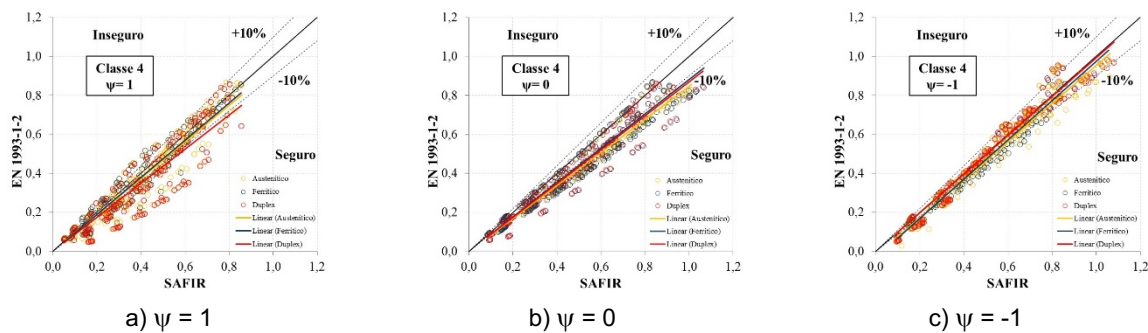


Figura 8: Comparação entre a EN 1993-1-2 e os resultados obtidos com o SAFIR

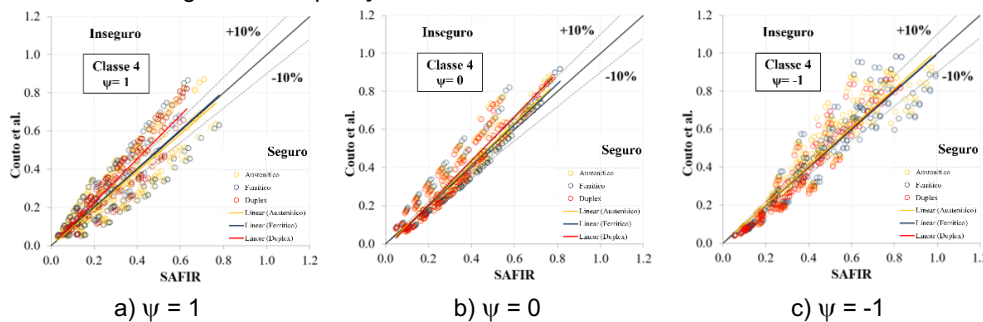


Figura 9: Comparação entre a proposta de Couto et al. [10] e os resultados obtidos com o SAFIR

Observa-se que a metodologia da EN 1993-1-2 não cumpre alguns dos critérios de validação, sendo muito conservativa, com resultados distantes das curvas do EC3. A proposta de Carlos et al. [10] é menos conservativa (valores médios próximos de 1), apresentando considerável percentagem de resultados inseguros (mais de 20% em todos os casos de estudo) e valores dispersos (desvios padrão elevados).

### 3. CONCLUSÕES

Foi apresentado um estudo numérico paramétrico do comportamento ao fogo de vigas-coluna com secção elíptica oca em aço inoxidável. A precisão da EN 1993-1-2 foi avaliada considerando resistências últimas obtidas numericamente. Uma proposta desenvolvida por Couto et. al [10] para elementos em aço carbono foi também analisada. As influências de diferentes esbeltezas da secção transversal, comprimentos dos elementos, tipos de aço inoxidável, tipos de carregamento e temperaturas, foram consideradas e analisadas sendo possível concluir que: i) o aumento da esbelteza do elemento influencia a forma da curva de interação, que deve ser reproduzida nas expressões de dimensionamento; ii) as curvas de interação não evidenciaram grandes diferenças em função do tipo de aço inoxidável, levando a crer que uma expressão única para o fator de interação poderá contemplar todos os tipos de aço analisados.

Da análise estatística da precisão das curvas de interação de dimensionamento estudadas observou-se que nenhuma delas estava em conformidade com o procedimento de validação adotado (Kruppa [22]) e que: i) as atuais regras de cálculo da EN1993-1-2 [3] apresentam aproximações geralmente seguras, existindo porém alguns resultados do lado inseguro, o que revela uma elevada dispersão dos resultados; e ii) a metodologia de Couto et. al [10] aplicada ao aço inoxidável apresenta curvas de interação inseguras.

Este estudo permitiu ainda concluir que as regras de cálculo existentes não fornecem aproximações precisas para vigas-coluna em aço inoxidável com secção elíptica oca. Assim, será importante o desenvolvimento de uma nova formulação especificamente para estes elementos considerando os diferentes parâmetros estudados no presente trabalho.

### AGRADECIMENTOS

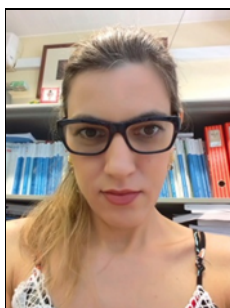
Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto StaSteFi - Dimensionamento ao fogo de elementos estruturais em aço inoxidável, PTDC/ECI-EGC/30655/2017, suportado pelo orçamento do POCI Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020) na sua componente FEDER e pelo orçamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

### REFERÊNCIAS

- [1] Gardner, L. "The use of stainless steel in structures", *Progress in Structural Engineering and Materials*, vol. 7, 2005, pp 45-55.
- [2] Euro Inox, SCI, Steel Construction Institute. *Design Manual for Structural Stainless Steel*, 3rd edition, 2006.
- [3] CEN, EN 1993-1-2, Eurocode 3: Design of Steel Structures - Part 1–2: General rules - Structural fire design, Brussels, Belgium, 2005.
- [4] Gardner, L. "Aesthetics, economics and design of stainless steel structures", *Advanced Steel Construction*, vol. 4, no. 2, 2008, pp 113-122.
- [5] Gardner, L. "Stability and design of stainless steel structures – Review and outlook", *Thin-Walled Structures*, vol. 141, 2019, pp 208-216.
- [6] Baddoo, N. "Stainless steel in construction: A review of re-research, applications, challenges and opportunities", *J. of Constructional Steel Research*, vol. 64, no. 11, 2008, pp 1199-1206.

- [7] Lopes, N.; Vila Real, P.; Simões da Silva, L.; Franssen, J.M., Numerical analysis of stainless steel beam-columns in case of fire, *Fire Safety Journal*, Vol. 50, 2012, 35-50.
- [8] Lopes, N.; Vila Real, P., Fire resistance of stainless steel structural elements with class 4 square hollow sections subject to combined bending and axial compression, 8th Int. Conf. on SiF, Shanghai, China, 2014.
- [9] Lopes, N.; Manuel, M.; Sousa, A. R.; Vila Real, P., Parametric study on austenitic stainless steel beam-columns with hollow sections under fire, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 152, 2019, 274-283.
- [10] Couto C., Sanzel A., Vila-Real P., Lopes N., Zhao B., Beam-columns with thin wall cross-sections in case of fire, 9th International Conference Structures in Fire, 2016.
- [11] FIDESC4. Fire Design of Steel Members with Welded or Hot-Rolled Class 4 Cross-Section, RFCS-CT-2011-00030, 2011-2014. 2014.
- [12] Franssen, J-M. & Vila Real, P., *Fire Design of Steel Structures*, ECCS, Ernst & Sohn, a Wiley Company, 2nd edition, 2015.
- [13] Gardner, L., Chan, T.M., Abela, J. M., Structural behaviour of elliptical hollow sections under combined compression and uniaxial bending. *Ad. Steel Const.*, Vol. 7, No.1, 2011, 86-112
- [14] Talamona, D., *Flambement de Poteaux Métalliques Sous Charge Excentrée, à Haute Température*, PhD Thesis University Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France, 1995.
- [15] Chan, T. M. and Gardner, L., Compressive resistance of hot-rolled elliptical hollow sections, *Engineering Structures*, Vol. 30 (2), 2008, 522-532.
- [16] Gernay, T., Franssen, J.M., "Modeling structures in fire with SAFIR®: Theoretical background and capabilities", *J. of Structural Fire Engineering*, Vol. 8, 3, 2017, pp. 300-323.
- [17] CAST3M, development sponsored by French Atomic Energy Commission, 2012.
- [18] Couto, C., Vila Real, P., Lopes, N., RUBY – an interface software for running a buckling analysis of SAFIR models using Cast3M, University of Aveiro, 2013.
- [19] CEN, EN 1993-1-5, Eurocode 3: Design of Steel Structures - Part 1–5: Plated structural elements, Brussels, Belgium, 2006.
- [20] CEN, EN 1090-2+A1, Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for steel structures, Brussels, Belgium, 2008.
- [21] CEN EN 10219-2, Cold Formed Welded Steel Structural Hollow Sections - Part 2: Tolerances, Dimensions and Sectional Properties, Belgium, 2019.
- [22] Kruppa, J. Eurocodes – fire parts, proposal for a methodology to check the accuracy of assessment methods, CEN TC 250, Horizontal Group Fire, Document n° 99/130, 1999.

## COLUNAS MISTAS DE DUPLO-TUBO – COMPARAÇÃO ENTRE ENSAIOS EXPERIMENTAIS E MODELOS ANALÍTICOS DE CÁLCULO



**Aline Lopes  
Camargo \*\*\*\*\***  
Investigadora  
Itecons - Coimbra



**Ricardo Hallal  
Fakury**  
Professor  
UFMG - Brasil



**João Paulo C.  
Rodrigues**  
Professor  
UC - Coimbra

### SUMÁRIO

O uso de colunas mistas formadas por perfis tubulares preenchidos com concreto é crescente, principalmente devido à sua alta capacidade resistente, permitir o uso de seções transversais menores, além de dispensar o uso de fôrmas. Este artigo apresenta uma comparação entre os resultados experimentais de colunas mistas de duplo-tubo em situação de incêndio e o modelo analítico de cálculo para colunas mistas. As colunas mistas de duplo-tubo possuem dois tubos concêntricos, totalmente preenchimentos em concreto, e as colunas mistas de dupla-pele que possuem concreto apenas entre os tubos, sendo que o tubo interno permanece vazio. Após a análise dos resultados dos ensaios, comparou-se a capacidade resistente em situação de incêndio obtida nos mesmos com a encontrada através da norma (EN 1994-1.2: 2005). Verificou-se que atualmente a norma, mesmo com algumas adaptações, não é capaz de avaliar corretamente a capacidade resistente das colunas de duplo-tubo em temperaturas elevadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** dupla-pele, duplo-tubo, incêndio, análise experimental, cálculo

### 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, especialmente na Ásia, para reduzir o peso das estruturas mistas, devido aos abalos sísmicos, desenvolveu-se um novo tipo de colunas, as colunas mistas de dupla-pele preenchidas com concreto. Elas consistem de dois tubos de aço concêntricos com concreto entre os tubos, e possuem um comportamento semelhante às colunas mistas de perfil tubular de aço preenchidas com concreto, mas com menor peso e maior rigidez [1, 2]. As colunas mistas de dupla-pele foram relatadas pela primeira vez no final dos anos de 1980, e a partir daí algumas pesquisas foram conduzidas, principalmente relacionando o seu uso a edifícios altos e pontes [3]. Esses estudos, em temperatura ambiente, apontaram que a geometria da seção transversal tem significativa influência no comportamento à compressão, as colunas de seção circular têm o comportamento mais dúctil se comparados aos de seção quadrada, e o preenchimento com concreto retarda a ocorrência da instabilidade local nos tubos de aço além de proporcionar o efeito de confinamento do concreto [1].

Recentemente, tendo como referência as colunas mistas de dupla-pele, desenvolveu-se uma nova configuração, utilizando os dois tubos concêntricos, porém com a seção completamente preenchida de concreto, tanto o anel

---

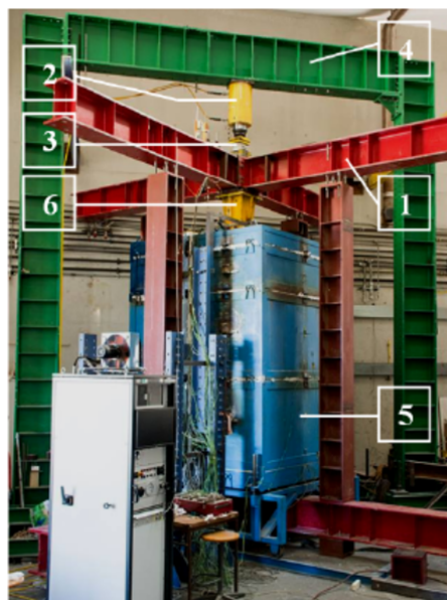
\*\*\*\*\* Autor correspondente – Itecons – Pólo II da Universidade de Coimbra, Rua Pedro Hispano, s/n 3030-289 Coimbra.  
email: [aline.camargo@itecons.uc.pt](mailto:aline.camargo@itecons.uc.pt)

entre os tubos, quanto o tubo interno. Esta nova solução construtiva tem maior resistência e rigidez, e são chamadas de colunas mistas de duplo-tubo [4, 5]. Estas colunas têm uma alta capacidade de carga, e acredita-se que um melhor comportamento em situação de incêndio, pois o núcleo de concreto e o tubo interno são menos afetados pelas altas temperaturas. São poucos os trabalhos sobre o comportamento de colunas mistas de duplo-tubo em situação de incêndio. Romero *et al.* (2014, 2015) [4, 5] apresentaram uma série de ensaios em colunas mistas de duplo-tubo, tanto em temperatura ambiente quanto em temperaturas elevadas, com o objetivo de analisar o seu comportamento, porém devido ao reduzido número de ensaios e à variedade de parâmetros envolvidos, as conclusões ainda são iniciais.

A pesquisa sobre colunas mistas de dupla-pele e duplo-tubo em situação de incêndio ainda é escassa, especialmente em colunas com alongamento térmico restringido. Camargo *et al.* (2019) [6] realizaram uma série de ensaios com colunas mistas de dupla-pele e duplo-tubo para estudar os efeitos da restrição axial e rotacional sobre o comportamento e a capacidade de carga destas colunas em caso de incêndio. Os resultados destes ensaios, em termos de capacidade resistente, são aqui comparados com os resultados obtidos através do modelo analítico de cálculo apresentado pela norma EN 1994-1.2: 2005 [7].

## 2. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

O estudo experimental apresentado por Camargo *et al.* (2019) [6], sobre o comportamento colunas mistas de duplo-tubo em temperaturas elevadas e com alongamento térmico restringido realizou-se no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Universidade de Coimbra, em Portugal. O sistema experimental utilizado é um sistema capaz de simular o comportamento de uma coluna em situação de incêndio com deformações axiais e rotacionais restringidas. A estrutura consiste em um pórtico de restrição tridimensional (Fig. 1-1), com rigidez K variável, que tem a função de simular a rigidez da estrutura circundante à coluna em situação de incêndio, onde normalmente a coluna aquecida tem sua expansão restringida pela estrutura envolvente mais fria, reproduzindo assim, uma situação tão real quanto possível. A posição das colunas do pórtico de restrição tridimensional pode variar, o que resulta em valores diferentes de rigidez da estrutura envolvente. Além disso, um dispositivo especial (Fig. 1-6), desenvolvido e fabricado na Universidade de Coimbra, foi utilizado para medir as forças de restrição geradas nas colunas pela imposição da restrição ao alongamento térmico durante os ensaios [6, 8, 9].



- 2 = Macaco hidráulico 3MN;
- 3 = Célula de carga;
- 4 = Pórtico de reação bidimensional;
- 5 = Forno elétrico modular;
- 6 = Dispositivo especial.

Figura 1: Visão geral do sistema experimental (Camargo *et al.*, 2019)

Foram ensaiadas em situação de incêndio dez colunas mistas de dupla-pele (DS) e duplo-tubo (DT) com diferentes tipos de enchimento de concreto: concreto normal (PC – *Plain Concrete*), concreto de alta resistência (HSC – *High Strength Concrete*) e concreto com argila expandida (LWC – *Light Weight Concrete*) (Fig. 2). Aos 28 dias, a resistência à compressão do NC era de 28,5 MPa, enquanto a do LWC era de 45,2 MPa e a do HSC era de 72,5 MPa. Os perfis de aço usados na fabricação das colunas possuíam todos a mesma seção. O tubo externo tinha diâmetro de 219,1 mm e espessura de parede de 8 mm, e o tubo interno tinha diâmetro de 101,6 mm e espessura de parede de 6 mm, ambos do tipo de aço S355. Além do tipo de concreto, o nível de carregamento (%  $N_{Rd}$ ) e a rigidez da estrutura circundante também foram parâmetros considerados nos ensaios. Dois conjuntos de valores para a rigidez da estrutura circundante foram utilizados nos ensaios. O primeiro conjunto K1 - correspondendo a uma rigidez axial de  $k_{a,1} = 30$  kN/mm e rigidez rotacional de  $k_{r,1} = 94,615$  kN m/rad, e segundo conjunto K2 - correspondendo a uma rigidez axial de  $k_{a,2} = 110$  kN/mm e rigidez rotacional de  $k_{r,2} = 131,340$  kN m/rad. A menor rigidez (K1) significa praticamente ausência de restrição térmica, enquanto a maior rigidez (K2) simula um edifício comum de dois andares de vãos 3 x 4 com 6 m de extensão. Os valores do carregamento aplicado às colunas ( $P_0$ ) foram de 50% e 30% do valor da força axial resistente de cálculo em temperatura ambiente ( $N_{Rd}$ ) [6]. As colunas ensaiadas, os parâmetros de ensaio e o tempo crítico são apresentados na tabela 1.

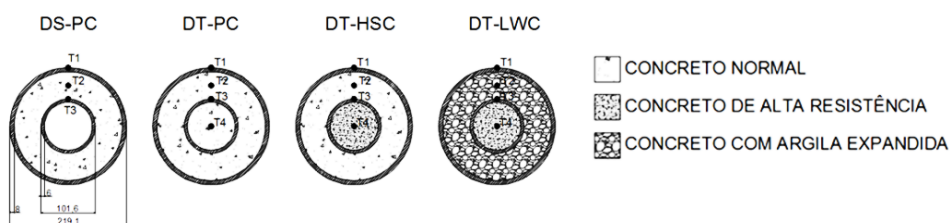


Figura 2: Representação esquemática das seções ensaiadas

Tabela 1 - Plano de ensaios

	$K_a$ (kN/mm)	$K_r$ (kN.m/rad)	$P_0$ (kN)	$N_{Rd}$ %	$t_{cr}$ (min)
T1-DS-PC-K1-30	30	94,615	723	30	36
T2-DS-PC-K2-30	110	131,340	723	30	26
T3-DS-PC-K1-50	30	94,615	1205	50	21
T4-DT-PC-K1-30	30	94,615	739	30	41
T5-DT-PC-K2-30	110	131,340	739	30	31
T6-DT-PC-K1-50	30	94,615	1233	50	20
T7-DT-HSC-K1-30	30	94,615	802	30	25
T8-DT-HSC-K2-30	110	131,340	802	30	23
T9-DT-LWC-K1-30	30	94,615	920	30	28
T10-DT-LWC-K2-30	110	131,340	920	30	26

Camargo *et al.* (2019) [6] apresentaram os resultados em termos de tempo crítico, forças de restrição, deslocamento axial e lateral, rotações na base e no topo e variações transversal e longitudinal das temperaturas. Para a verificação da norma foram usados os dados de temperatura, exemplificados na figura 3 e o carregamento suportado no tempo crítico e no colapso final. O tempo crítico ( $t_{cr}$ ) foi definido como o instante no qual as forças de restrição retornam ao valor da força inicial aplicada ( $P_0$ ), após terem aumentado devido ao alongamento térmico da coluna e depois diminuído com a degradação das propriedades dos materiais, provocada pela elevação da temperatura ( $P/P_0 = 1$ ). E o colapso final é um instante de tempo, após o tempo crítico, correspondente à perda total da capacidade resistente da coluna, acompanhada por uma queda súbita das forças de restrição (Fig. 4).

As definições de tempo crítico e colapso final se fez necessária devido ao comportamento das colunas de duplo-tubo em temperaturas elevadas. Nos primeiros minutos de ensaio, a temperatura do forno aumenta muito rapidamente e a temperatura do tubo externo tenta acompanhar (Fig.3). Com o aumento da temperatura no tubo externo, o mesmo alonga-se, e as forças de restrição na coluna aumentam. Quando o tubo externo atinge cerca de 400 °C, o aço começa a ter suas propriedades mecânicas degeneradas e é observada uma contração na coluna. As forças de restrição começam a diminuir para valores próximos à força inicial aplicada, sendo que as temperaturas no concreto e no tubo interno ainda estão próximas de 100 °C (tempo crítico). Enquanto as temperaturas no concreto e no tubo interno sobem lentamente, as forças de restrição se mantêm praticamente constantes, somente quando as temperaturas do tubo interno estão próximas de 300 °C é que ocorre o "colapso final" da coluna (Fig. 4 e 5). O tempo de colapso final foi, em alguns casos, mais próximo do tempo crítico, porque a coluna perdeu completamente a capacidade resistente logo após as forças de restrição terem atingido novamente o valor do carregamento inicial aplicado.

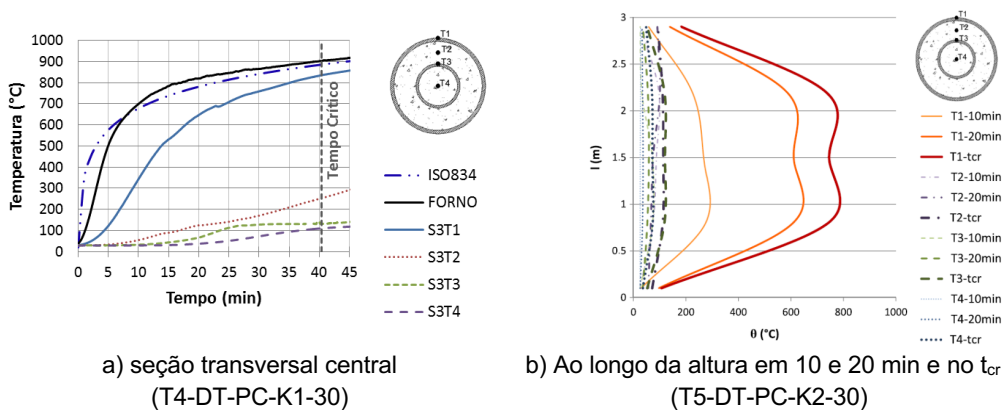


Figura 3: Evolução das temperaturas em colunas de duplo-tubo

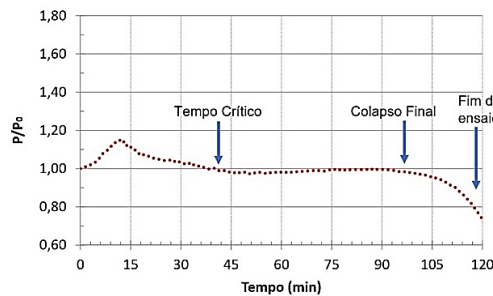


Figura 4: Tempo crítico e colapso final da coluna T4-DT-PC-K1-30

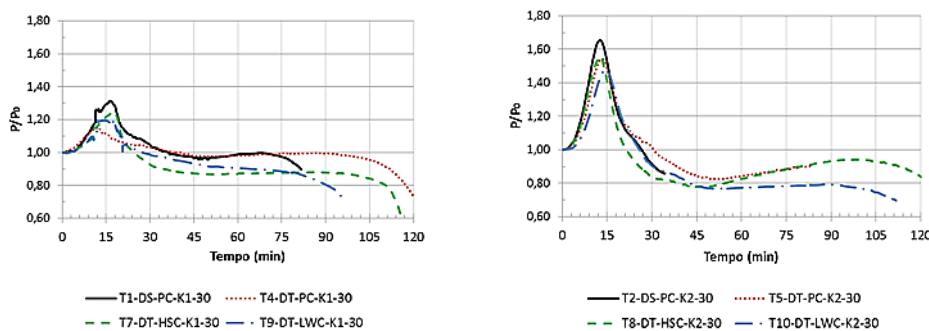


Figura 5: Forças de restrição para o nível de carregamento de 30% e rigidez axial da estrutura circundante K1 e K2

### 3. MODELO ANALÍTICO DA EN 1994-1.2: 2005

As normas atuais não fornecem um método de cálculo para colunas mistas de duplo-tubo, nem em temperatura ambiente, nem em temperaturas elevadas. Romero *et al.* (2015) [5] utilizam o método analítico da EN 1994-1.1: 2004 [10], com algumas adaptações, para calcular a força axial resistente de colunas mistas de duplo-tubo em temperatura ambiente. Nessa adaptação, o tubo interno é considerado como armadura e as curvas "a" ou "b" da tabela 5.5 da EN 1994-1-1: 2004 são selecionadas de acordo com as características do perfil.

O método analítico de cálculo em temperaturas elevadas consiste em se determinar a temperatura nos componentes da seção transversal para um dado TRRF, e com as propriedades dos materiais reduzidas pelo aumento da temperatura, calcular a força axial de compressão resistente de cálculo. Para tal, o Método Analítico, requer a determinação da distribuição de temperatura na seção transversal da coluna, sendo a mesma tomada como constante ao longo do comprimento (altura da coluna). Esse cálculo envolve, para colunas mistas de seção tubular preenchidas por concreto, ensaios laboratoriais ou a utilização métodos computacionais específicos para a determinação da distribuição da temperatura na seção transversal.

Na EN 1994-1.2: 2005 [7], no Anexo H, é proposto um método de cálculo para colunas mistas de seção tubular preenchidas com concreto submetidas à força axial concêntrica em temperaturas elevadas. Este método consiste em aumentar a deformação em passos até que a força crítica de flambagem elástica,  $N_{fi,e}$ , seja igual à força de plastificação resistente de cálculo,  $N_{fi,pl,Rd}$ , ambos em situação de incêndio. Observa-se que  $N_{fi,e}$  depende do módulo de elasticidade tangencial da relação tensão-deformação para o respectivo material, da temperatura e do nível de tensão, enquanto  $N_{fi,pl,Rd}$  depende do nível de tensão no material. Assim, com o aumento da tensão, tem-se uma diminuição de  $N_{fi,e}$  e um aumento de  $N_{fi,pl,Rd}$ . Portanto, a força axial resistente de cálculo em situação de incêndio,  $N_{fi,Rd}$ , é obtida quando a tensão, que fornece os mesmos valores para  $N_{fi,e}$  e  $N_{fi,pl,Rd}$ , é encontrada. Isto é, quando:

$$N_{fi,Rd} = N_{fi,e} = N_{fi,pl,Rd} \quad (1)$$

onde:

$$N_{fi,e} = \pi^2 [E_{a,\theta,\sigma} I_a + E_{c,\theta,\sigma} I_c + E_{s,\theta,\sigma} I_s] / L_{e,fi}^2 \quad (2)$$

$$N_{fi,pl,Rd} = A_a \sigma_{a,\theta} / \gamma_{M,fi,a} + A_c \sigma_{c,\theta} / \gamma_{M,fi,c} + A_s \sigma_{s,\theta} / \gamma_{M,fi,s} \quad (3)$$

$N_{fi,e}$  é força de flambagem elástica crítica ou de Euler;

$N_{fi,pl,Rd}$  valor da força de plastificação resistente de cálculo da seção mista;

$L_{e,fi}$  comprimento de flambagem em situação de incêndio;

$E_{i,\theta,\sigma}$  módulo de elasticidade tangente do material  $i$  à uma temperatura  $\theta$  e uma tensão  $\sigma_{i,\theta}$ ;

$I_i$  momento de inércia do material  $i$ ;

$A_i$  área da seção transversal do material  $i$ ;

$\sigma_{i,\theta}$  tensão do material  $i$  à temperatura  $\theta$ .

### 4. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS COM O MÉTODO ANALÍTICO DA EN 1994-1.2: 2005

Os ensaios realizados permitiram não só obter os valores da capacidade resistente das colunas, como também as temperaturas em diferentes pontos das seções. A partir desses dados, é possível verificar se os resultados obtidos pelo método analítico de cálculo apresentado pela EN 1994-1-2: 2005 [7] são compatíveis com os observados nos ensaios. Para calcular a força de axial resistente de cálculo em temperaturas elevadas utilizou-se as temperaturas nas seções transversais obtidas nos ensaios (termopares T1, T2, T3 e T4, da seção transversal central, Fig. 2), e o tubo de aço interno foi tratado como armadura longitudinal.

A tabela 2 apresenta uma comparação entre os resultados obtidos nos ensaios realizados e os valores de carregamento suportado calculados através do modelo analítico da EN 1994-1-2: 2005 [7], utilizando as temperaturas obtidas nos ensaios, na seção transversal central, no tempo crítico. Nos ensaios, como já descrito

anteriormente, foi observado que, após o colapso definido pelo tempo crítico, na maioria dos casos as forças de restrição se mantiveram constantes por um longo período de tempo, e somente depois que as temperaturas internas da coluna se aproximaram de 300° C é que ocorreu o colapso final. Assim, a tabela 3 compara os resultados obtidos nos ensaios e os valores de carregamento suportados calculados segundo a EN 1994-1-2: 2005, dessa vez utilizando as temperaturas no momento do colapso final. As colunas T2-DS-PC-K2-30, T3-DS-PC-KI-50 e T6-DT-PC-KI-50, não apresentaram o patamar de sustentação do carregamento, atingindo o colapso final juntamente com o tempo crítico. Para a coluna T2-DS-PC-K2-30, devido às condições limitantes dos ensaios, não foi possível prolongar o ensaio e observar se o mesmo iria apresentar ou não o patamar de resistência. Para as colunas T3-DS-PC-KI-50 e T6-DT-PC-KI-50 é possível concluir que o carregamento aplicado (50% de  $N_{Rd}$ ) foi essencial para o colapso final das colunas.

Tabela 2 - Comparação entre os resultados experimentais com os modelos analíticos para o tempo crítico.

	$t$ (min)	$N_{test}$ (kN)	$N_{EC4}$ (kN)	$\xi_{EC4}$ (%)
T1-DS-PC-KI-30	36	723	1033	43
T2-DS-PC-K2-30	26	723	1201	66
T3-DS-PC-KI-50	21	1205	1425	18
T4-DT-PC-KI-30	41	739	1043	41
T5-DT-PC-K2-30	31	739	1315	78
T6-DT-PC-KI-50	20	1233	1655	34
T7-DT-HSC-KI-30	25	802	1606	100
T8-DT-HSC-K2-30	23	802	1716	114
T9-DT-LWC-KI-30	28	920	1854	102
T10-DT-LWC-K2-30	26	920	1911	108
$\xi_{médio}$				70,4

Tabela 3 - Comparação entre os resultados experimentais com os modelos analíticos para o colapso final.

	$t$ (min)	$N_{test}$ (kN)	$N_{EC4}$ (kN)	$\xi_{EC4}$ (%)
T1-DS-PC-KI-30	69	733	488	-33
T2-DS-PC-K2-30	-	-	-	-
T3-DS-PC-KI-50	-	-	-	-
T4-DT-PC-KI-30	90	728	472	-35
T5-DT-PC-K2-30	83	660	583	-12
T6-DT-PC-KI-50	-	-	-	-
T7-DT-HSC-KI-30	92	695	473	-32
T8-DT-HSC-K2-30	108	734	461	-37
T9-DT-LWC-KI-30	79	753	557	-26
T10-DT-LWC-K2-30	97	702	625	-11
$\xi_{médio}$				-26,6

Nas tabelas 2 e 3, pode ser observado que as forças de instabilidade axial estimadas no colapso final eram em geral excessivamente conservadoras, com um erro médio igual a 26%. No entanto, elas eram inseguras quando calculadas no tempo crítico, com um erro médio igual a 70%. Os erros  $\xi_{EC4}$  apresentados nas tabelas foram calculados pelo quociente entre o erro absoluto (diferença entre o valor estimado e o exato) pelo valor exato (valor experimental  $N_{test}$ ). De qualquer forma, verificou-se que a força de instabilidade axial estimada fornece melhores resultados para as colunas de menor esbelte e menores níveis de carregamento inicial aplicado.

É importante lembrar que, o tempo crítico definido nesse trabalho, é diferente do critério de falha, definido na ISO 834-1:1999 [11], e utilizado por outros autores. Portanto, para se ter uma melhor compreensão sobre a validade do método analítico para as colunas de duplo-tubo, comparou-se dos resultados obtidos em estudos experimentais realizados por Romero *et al.* (2015) [5], em colunas mistas de duplo-tubo em situação de incêndio.

Em Romero *et al.* (2015) [5] são apresentados os resultados de 12 ensaios, seis ensaios em temperatura ambiente e seis em temperaturas elevadas, onde os parâmetros variáveis eram o tipo de concreto de preenchimento, concreto normal e concreto de alta resistência, e a espessura das paredes dos tubos de aço, sendo três colunas com o tubo externo de 3 mm e interno de 8 mm de espessura, e três colunas com o tubo externo de 6 mm e o interno com 3 mm de espessura (Fig. 6). Em situação de incêndio, verificou-se que os resultados dependem da configuração da seção, se a espessura da parede do tubo de aço interno for muito fina, o incremento da resistência ao fogo não é significativo. No entanto, se a parede do tubo de aço interno for espessa, ocorre um segundo alongamento térmico, produzindo um incremento na resistência ao fogo, fenômeno similar ao observado em Camargo *et al.* (2019) [6], no intervalo entre o tempo crítico e o colapso final, em que as forças de restrição se mantiveram praticamente constantes (Fig. 5).

Comparando os resultados experimentais em temperaturas elevadas de Romero *et al.* (2015) [5] com a EN 1994-1-2: 2005 [7], pode-se observar pela tabela 4, que para as colunas mistas de duplo-tubo preenchidas com concreto comum, o uso da EN 1994-1-2: 2005 [7] apresenta resultados satisfatórios, com um erro médio inferior a 4%. Porém, ao se utilizar concreto de alta resistência, neste caso o concreto com resistência média de 130 MPa, os resultados obtidos através da EN 1994-1-2: 2005 [7] são extremamente desfavoráveis, com um erro médio próximo a 60%.

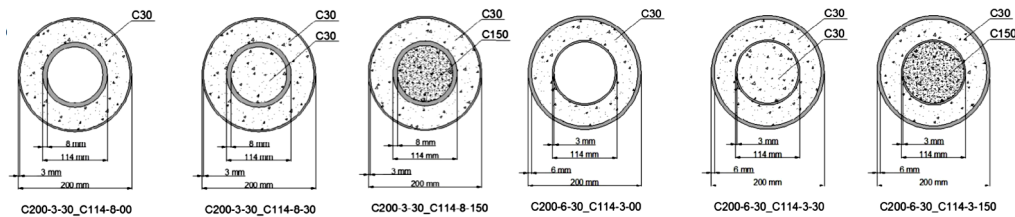


Figura 6: Seções transversais ensaiadas por ROMERO *et al.* (2015).

Tabela 4 - Comparação entre os resultados experimentais de Romero *et al.* (2015) e a EN 1994-1-2: 2005.

	$t$ (min)	$N_{test}$ (kN)	$N_{EC4}$ (kN)	$\xi_{EC4}$ (%)
C200-3-30-C114-8-00*	76	283	243,6	-14
C200-3-30-C114-8-30**	104	325	300,8	-7
C200-3-30-C114-8-150***	98	355	527,8	49
C200-6-30-C114-3-00*	48	329	340,0	3
C200-6-30-C114-3-30**	45	392	424,6	8
C200-6-30-C114-3-150***	33	415	702,0	69
$\xi_{médio}$				18

\*Coluna mista de dupla-pele, \*\*Coluna mista de duplo-tubo,

\*\*\*Coluna mista de duplo-tubo com núcleo de concreto de alta resistência.

Observando as tabelas 2, 3 e 4, podemos concluir que ao se utilizar concreto de alta resistência os resultados obtidos através da EN 1994-1-2: 2005 [7] são extremamente desfavoráveis, tanto no tempo crítico, quanto pelo critério de falha. Para o caso das colunas analisados por Romero *et al.* (2015) [5], com concreto comum, a EN 1994-1-2: 2005 [7] parece ser uma boa solução. Porém, o mesmo não foi observado quando comparada com os ensaios de Camargo *et al.* (2019) [6]. Esse resultado pode estar relacionado ao fato das seções das colunas ensaiadas por Romero *et al.* (2015) [5] possuírem uma área de aço de  $\pm 4\%$ , muito próximo aos valores das colunas

mistas preenchidas com concreto armado, já previstas na norma, enquanto nas colunas ensaiadas por Camargo *et al.* (2019) [6] a área de aço representa  $\pm 18\%$  da seção.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O número reduzido de ensaios, a grande variedade de parâmetros e as diferenças entre critérios de falha, torna inviável qualquer conclusão mais assertiva no momento. Sendo assim, o que se pode concluir é que, mesmo com as adaptações, o método analítico da EN 1994-1-2: 2005, não se mostrou capaz de atender às colunas mistas de duplo-tubo, principalmente com concretos de alta resistência. Nesse sentido, é necessária a elaboração de métodos simplificados de cálculo, que contemplem colunas mistas de duplo-tubo e a sua inserção nas normas vigentes. Para tal, estudos complementares se fazem necessários, tanto experimentais, quanto numéricos, a fim de se obter os dados necessários para a proposição desses novos métodos. Por enquanto, recomenda-se aplicar métodos mais avançados de cálculo para a determinação da capacidade resistente das colunas mistas de duplo-tubo, tanto em temperatura ambiente quanto em temperaturas elevadas.

## REFERÊNCIAS

- [1] Fan, J. S.; Baig, M. N.; Nie, J. G. *Test analysis on double-skin concrete filled tubular columns*. Proceedings of Tubular Structures XII, 2009, p. 407-411.
- [2] Pagoulatou, M.; Sheehan, T.; Dai, X. H.; Lam, D. *Finite element analysis on the capacity of circular concrete-filled double-skin steel tubular (CFDST) stud columns*. Eng. Struct. 72 (Aug), 2014, p. 102–112.
- [3] Zhao, X.L.; Han, L.H. *Double skin composite construction*. Progress in Structural Engineering and Materials, Volume 8, Issue 3, 2006, p. 93-102.
- [4] Romero, M. L.; Espinós, A.; Portolés, J. M.; Hospitalier, A. Ibañez, C. *Concrete Filled Circular Double-Tube Steel Columns Subjected to Fire*. In: 8th International Conference on Structures in Fire. Shanghai, China, 2014, p. 769-776.
- [5] Romero M. L.; Espinós, A.; Portolés, J. M.; Hospitalier, A.; Ibañez, C. *Slender double-tube ultrahigh strength concrete-filled tubular columns under ambient temperature and fire*. Engineering Structures, 99, 2015, p. 536-545.
- [6] Camargo, Aline L.; Rodrigues, João Paulo C.; Fakury, Ricardo H.; Laim, Luis. *Fire Resistance of Axially and Rotationally Restrained Concrete-Filled Double-Skin and Double-Tube Hollow Steel Columns*. Journal of Structural Engineering, v.145, 2019, p.04019128.
- [7] EN 1994-1-2: 2005. Design of composite steel and concrete structures. Part 1-2: general rules - structural fire design. Belgium: European Committee for Standardization, 2005.
- [8] Pires, T. A.; Rodrigues, J. P. C.; Silva, J. J. *Fire resistance of concrete-filled steel circular hollow columns with restrained thermal elongation*. Journal Constr. Steel Res. 77 (Oct), 2012, p. 82–94.
- [9] Correia, A. J. P. M.; Rodrigues, J. P. C.; *Fire resistance of steel columns with restrained thermal elongation*. Fire Safety Journal, Vol. 50, 2012, p. 1-11.
- [10] EN 1994-1-1: 2004. Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: general rules and rules for buildings. Belgium: European Committee for Standardization, 2004.
- [11] ISO 834-1. Fire resistance tests-elements - elements of building constructions - Part 1 General requirements. International Organization for Standardization, Switzerland, 1999.

## AVALIAÇÃO E REPARAÇÃO DE ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS DANIFICADAS PELO INCÊNDIO



**Marco P. M. Filipe**

††††††††

Mestrando em  
Segurança aos  
Incêndios Urbanos  
UC - Coimbra



**João Paulo C.**

**Rodrigues**

Professor  
UC - Coimbra

### SUMÁRIO

Depois de ocorrer um incêndio, temos sempre a possibilidade de poder reabilitar uma estrutura, seja essa reabilitação aplicável a parte ou à totalidade da mesma e, portanto, um dos fatores mais importantes será a determinação do grau de degradação das propriedades mecânicas dos materiais que a constituem, assim como e por inerência, a reinterpretação do seu desempenho estrutural. Quando as estruturas são expostas a um incêndio de dimensão considerável, ficam suscetíveis a sofrer deformações substanciais e/ou danos. A conformidade de ensaios que se possam realizar, não significa só por si, a não necessidade de se efetuarem reparações. No entanto, será sempre importante contextualizar o custo das reparações estruturais.

**PALAVRAS-CHAVE:** incêndio; avaliação; dano; reparação; estruturas

### 1. INTRODUÇÃO

A possibilidade de reparação após um incêndio não pode ser simplesmente baseada na avaliação da viabilidade técnica, deve antes ser baseada em considerações muito mais amplas. A aparência, a confiabilidade das reparações e as opiniões das seguradoras e do próprio dono de obra devem ser tidas em consideração. No entanto, a viabilidade técnica e a respetiva avaliação de custos devem ser mencionadas como um dado a partir do qual outras considerações poderão ser examinadas [1].

---

††††††††  
Autor correspondente – Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Rua Luís Reis Santos. Polo II da Universidade. 3030-788 Coimbra. PORTUGAL. e-mail: mpmfilipe@student.dec.uc.pt

Serão necessárias um conjunto de tarefas urgentes, com o objetivo de determinar a estabilidade de curto prazo de um edifício que tenha sido danificado por ação de um incêndio e, por este motivo, deverão ser envolvidos nestes trabalhos profissionais de engenharia que compreendam os pressupostos da resistência ao fogo das estruturas, para se poder efetuar uma correta avaliação das mesmas.

## **2. PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO**

Quando pretendemos efetuar a avaliação dos danos associados a uma estrutura que tenha sofrido a ação de um incêndio, temos de ter em consideração os materiais envolvidos. Deverá perceber-se a relevância de aspetos relacionados com a estabilidade geral da estrutura ou de alguns elementos isolados em concreto.

Normalmente estes procedimentos são iniciados com uma visita ao local, seguidamente é feito um estudo documental e é feita uma recolha detalhada de evidências. Por fim efetua-se uma avaliação dos danos e são especificadas quais as reparações a efetuar.

### **2.1 Visita ao local e estudo documental**

Um aspeto sempre a considerar está relacionado com a segurança. As visitas a edifícios onde se verificou um incêndio, devem ter em atenção que os mesmos podem não se encontrar em condições de segurança para que se proceda às avaliações necessárias, pelo que, antes de mais será necessário garantir os níveis adequados de segurança para todos os intervenientes no processo, exigindo-se por isso um planeamento cuidadoso e bem ponderado.

Pode em algumas situações haver a necessidade de instalação de estruturas de suporte temporárias antes de se avançar com a visita. Podem ainda existir outros riscos associados a edifícios que tenham sido afetados por um incêndio, nomeadamente a existência de gases tóxicos ou poeiras.

Após a validação das questões relacionadas com a segurança, a visita pode iniciar-se, com o objetivo de reunir um conjunto de dados que nos permita perceber o histórico do incêndio. Será também importante obter uma perspetiva inicial relativa aos elementos mais danificados, que nos poderão dar uma indicação antecipada da dimensão dos danos na globalidade da estrutura.

Deve-se tentar também, reunir documentos relativos ao projeto inicial, nomeadamente peças desenhadas, escritas, cálculos e especificações, assim como, informações sobre a construção do edifício e a sua utilização. É também importante tentar obter relatórios, fotografias e vídeos dos bombeiros ou de testemunhas, com vista a estabelecermos a cronologia do incêndio.

### **2.2 Recolha detalhada de evidências**

Para ser estabelecida uma estratégia quanto à recolha detalhada de evidências, devemos recorrer aos documentos anteriormente reunidos, às evidências da visita inicial ao local e também aos dados prévios das eventuais temperaturas que se possam ter desenvolvido.

Quadro 1: Efeito da temperatura nos materiais (adaptado de [2])

Temperatura de ocorrência (°C)	Material	Exemplos de utilização	Fenómeno
100	Tinta	Pintura das estruturas de aço	Deterioração
150			Destruição
120	Poliestireno	Recipientes de alimentos,	Colapso
120 – 140		espuma, persianas, cortinas,	Amolecimento
150 – 180		puxadores, ganchos, rádios	Derretimento e escoamento
100	PVC	Cabos, tubos, condutas, forros,	Degradação
150		perfis, puxadores, maçanetas,	Fumos
200		utensílios domésticos,	Escurecimento
400 – 500		brinquedos, garrafas	Carbonização
240	Madeira	Móveis e revestimentos	Ignição
250	Soldaduras	Juntas de canalização,	Derretimento
300 – 350		Canalizações, Instalações	Derretimento, Arred. <sup>to</sup> aresta
350 – 400		sanitárias, brinquedos	Formação de gotas
500 – 600	Vidro	Envidraçados, garrafas	Amolecimento, Arred. <sup>to</sup> aresta
800			Fácil escoamento, viscoso
900 – 1000	Latão	Fechaduras, torneiras,	Derretimento (arestas)
950 – 1050		maçanetas, fechos	Formação de gotas

Para tentarmos estimar quais foram as temperaturas que se desenvolveram, podemos recorrer aos materiais existentes no edifício (incluindo os materiais não estruturais) percebendo as condições em que se encontram (Ex.: carbonizado, amolecido, derretido, fundido) e a sua localização (ver Quadro 1).

É importante referir que deverá ter-se alguma atenção relativamente a esta estimativa de temperatura, uma vez que existem alguns materiais, como por exemplo a madeira, que pode continuar o processo de carbonização mesmo após a extinção primária, podendo conduzir a estimativas excessivas destas temperaturas.

A dilatação térmica e a subsequente contração, podem resultar em distorções temporárias ou permanentes, que podem causar danos às ligações entre os elementos da estrutura, por este motivo deve-se atentar ao facto de estes danos se poderem verificar em zonas mais afastadas das zonas que foram diretamente afetadas pelas altas temperaturas [1].

Para o auxílio na avaliação dos danos e no desenvolvimento de um programa de reparação, pode-se tentar perceber a intensidade do incêndio recorrendo à representação aproximada da distribuição de temperatura em determinado piso como mostra a Figura 1.

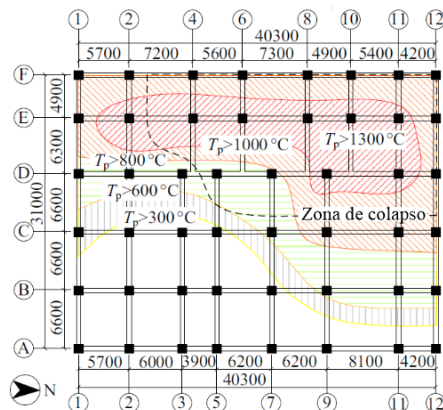


Figura 1: Distribuição de temperatura e zona de colapso (adaptado de [3])

Por outro lado, se estivermos perante um edifício de maior dimensão, pode tornar-se impraticável e desnecessário examinar todos os elementos da construção a não ser que os danos e as distorções sejam muito óbvios. Desta forma podemos definir e adotar um sistema de classificação de danos para simplificar a tarefa. Uma possível abordagem é mostrada no Quadro 2.

Quadro 2: Classificação de danos, caracterização e descrição (adaptado de [1])

Classe	Caracterização	Descrição
1	Dano superficial e/ou de aparência	Caracterizado por depósitos de fuligem e descoloração.
2	Dano superficial técnico	Caracterizado por danos aos tratamentos de superfície e revestimentos. Pequenas extensões de <i>spalling</i> †††††††† no betão ou de corrosão em metais descobertos. Superfícies pintadas podem ser reparadas. As superfícies revestidas com plásticos necessitam ser substituídas ou cobertas. As situações menores de <i>spalling</i> poderão permanecer ou eventualmente ser rebocadas.
3	Dano estrutural superficial	Caracterizado por algumas fissuras e <i>spalling</i> no betão, superfícies de madeira levemente carbonizadas, alguma deformação de superfícies metálicas ou danos moderados por corrosão.
4	Dano estrutural moderado	Caracterizado por fissuras e extensões de <i>spalling</i> maiores no betão, banzos e almas deformadas em vigas de aço, secções transversais parcialmente carbonizadas na madeira. Os danos podem ser reparados. Existem grandes deformações na estrutura, verificando-se redução da capacidade de carga e/ou alterações dimensionais.
5	Dano estrutural elevado	Caracterizado por elementos estruturais severamente danificados, materiais danificados e grandes deformações. Nas estruturas de betão há grandes extensões de <i>spalling</i> , armadura exposta e zona de compressão fragilizada. Nas de aço, grandes deformações permanentes. Nas de madeira podem haver secções transversais totalmente carbonizadas.

†††††††† De acordo com Khoury, o *spalling* pode definir-se como sendo o destacamento, violento ou não, de camadas ou partes da superfície do elemento de betão, quando exposto ao rápido aumento de temperatura, como o existente em situação de incêndio [11].

## 2.3 Avaliação de danos

Para se proceder à determinação dos danos causados, teremos de combinar várias etapas que nos darão uma avaliação qualitativa, por sua vez apoiada por num nível de análise que foi decidido e usado com precaução [1].

Numa primeira fase pretendemos perceber o funcionamento da estrutura antes do incêndio e quais as cargas que foram anteriormente consideradas. Seguidamente irá tentar-se estabelecer um perfil de tempo/temperatura do incêndio a partir das evidências recolhidas e de ensaios a efetuar aos elementos, com o objetivo de estabelecer uma correlação com curvas de incêndio padrão. Por último será efetuada uma avaliação da capacidade estrutural e da necessidade de reparações. Esta etapa pode ser abordada com maior confiança se houver algum grau de concordância nas fases anteriores.

### 2.3.1 Betão armado e pré-esforçado

O betão armado apresenta uma resposta muito variável quando submetido a um incêndio. As suas propriedades após o aquecimento irão ser influenciadas por uma série de fatores nomeadamente, a taxa de aquecimento, a duração do aquecimento, o regime de cargas a que está submetido e os componentes da mistura. Será importante referir que antes de se condenar um elemento de betão, deve ter-se algum cuidado, mesmo que nos seja apresentado um cenário com evidências de *spalling*, descolorações ou zonas enegrecidas e com exposição de armadura.

De acordo com o Relatório Técnico 68 da *Concrete Society* [2], alguns dos principais pontos a ter em consideração em estruturas danificadas por incêndio são: a redução da resistência à compressão do betão; a fluência ou deformação excessiva devido à redução do módulo de elasticidade; fendas em torno de áreas com elevada percentagem de armaduras; fendas provocadas pelo choque térmico da água das operações de extinção; redução da ligação entre a armadura e o betão; o *spalling* - explosivo e a redução da resistência da armadura.

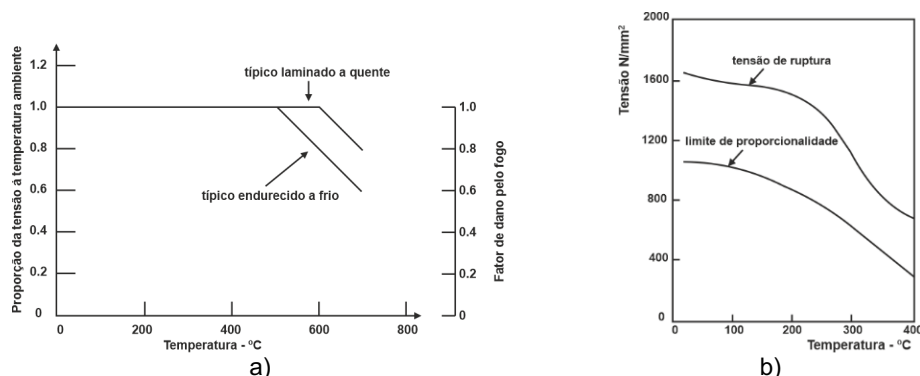


Figura 2: Tensão de cedência de a) aço para betão armado e de b) pré-esforço à temperatura ambiente após aquecidos a temperatura elevada (adaptado de [2])

Os aços endurecidos a frio, depois de aquecidos, perdem sua resistência mais rapidamente do que os aços laminados a quente. As propriedades após o aquecimento são interessantes do ponto de vista da reabilitação. A recuperação da tensão de cedência após o arrefecimento é normalmente total para temperaturas de até 450°C para os aços endurecidos a frio e 600°C para os aços laminados a quente (ver Figura 2a).

O comportamento do aço de pré-esforço após um incêndio é muito mais crítico do que o do aço de armaduras ordinárias de betão, apesar de ser menos frequente, uma vez que estas armaduras, normalmente se encontram a maiores profundidades. No entanto, deve referir-se que as propriedades de tração dos aços de pré-esforço deterioram-se mais acentuadamente quando submetidos a temperaturas elevadas, como pode ser visto na Figura 2b.

Podemos ainda referir que, haverá um conjunto de fenómenos, que irão ocorrer como resultado do aumento da temperatura, nomeadamente, a redução do módulo de elasticidade no betão, o aumento da relaxação por fluência e a extensão irrecuperável do aço de pré-esforço. Todos estes efeitos irão contribuir para perdas de pré-esforço.

### 2.3.2 Aço

Uma vez que o aço tem uma boa condutividade térmica, as temperaturas numa estrutura de aço, serão muito pouco diferentes daquelas que se verificarem no incêndio. A tensão de cedência do aço à temperatura ambiente desce para metade a 550°C e a 1000°C para menos de 10%. À medida que a temperatura aumenta, verifica-se também um atraso da degradação da tenção de cedência relativamente à sua rigidez, condicionando muito o comportamento das estruturas de aço. É por estes motivos que as estruturas de aço normalmente necessitam proteção contra incêndio. Para além de perderem praticamente toda a sua capacidade de carga em condições de incêndio, as estruturas de aço não protegidas podem manifestar movimentos por dilatação consideráveis.

Há alguns aspetos que podem contribuir para a atribuição de tensões residuais significativas aos elementos de uma estrutura de aço após o arrefecimento, nomeadamente as diferenças de temperatura e as restrições por ação da rigidez do resto da estrutura ou de elementos adjacentes.

Será necessário ter alguma atenção relativamente às ligações dos elementos, uma vez que as tensões induzidas pelo arrefecimento podem sujeitar as ligações a valores de tração tais, que as pode conduzir a um mecanismo de falência, como mostra a Figura 3.

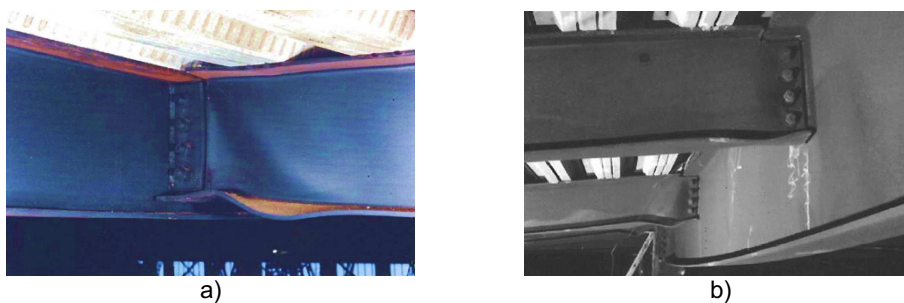


Figura 3: Ligações de vigas secundárias afetadas (adaptado de [4])

### 2.3.3 Madeira

As temperaturas elevadas promovem a degradação da madeira. A exposição da madeira ao fogo causa a sua degradação térmica ou pirólise, onde a madeira é convertida em gases voláteis inflamáveis e num resíduo de carvão. A extensão de qualquer degradação térmica depende da temperatura e da duração de exposição. Associa-se normalmente uma temperatura de aproximadamente 300°C à camada base de carvão, quando exposta ao ensaio padrão de resistência ao fogo. A produção mais expressiva de voláteis ocorre numa faixa de temperatura de 300 a 450°C. A temperatura abaixo dos 300 °C tem também efeitos prejudiciais para a madeira. Caso chegue, por breves instantes, a temperaturas até 66 °C, as suas propriedades não se alteram depois de arrefecida [5].

A alteração nas propriedades de resistência residual de elementos de madeira de dimensões semelhantes pode diferir para temperaturas elevadas, dependendo, em parte, das cargas associadas a esses elementos.

Qualquer parte carbonizada de uma secção deve ser considerada como tendo perdido toda a resistência, mas toda a madeira abaixo da camada carbonizada pode ser considerada como não tendo perda significativa de resistência porque a condutividade térmica da madeira carbonizada é baixa, no entanto a capacidade de carga residual será menor do que a capacidade de carga inicial devido à redução da sua secção transversal (Figura 4), mas ainda assim, pode ser possível resistir às cargas de projeto, muito embora fique com resistência reduzida a qualquer incêndio futuro.

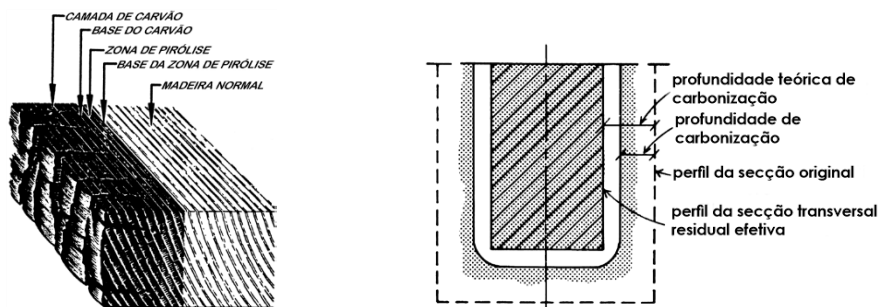


Figura 4: Degradação de elemento madeira carbonizado (adaptado de [5])

Os danos existentes nas ligações com conectores de aço devem ser reparados. As restantes reparações irão depender das circunstâncias, mas normalmente envolvem trabalhos de pregar, aparafusar, chapear com aço ou colagens.

#### 2.3.4 Alvenaria

As propriedades físicas e os mecanismos de falência das paredes de alvenaria sob condições de incêndio ainda não são conhecidos com detalhe [1]. Nas paredes de alvenaria pode verificar-se perda de resistência à compressão e as suas faces podem ser submetidas a dilatações térmicas distintas, tal com acontece no betão.

Para tijolos maciços, a resistência ao fogo é diretamente proporcional à espessura. No entanto, os tijolos perfurados são mais sensíveis ao choque térmico e pode haver lugar ao aparecimento de fendas nas argamassas de ligação o que propicia uma maior tendência para que se possam separar. Quando existem rebocos de base gesso, todos os tipos de tijolo apresentam um rendimento superior, uma vez que o gesso irá funcionar como um isolante térmico.

Como durante o processo de fabrico dos tijolos são também atingidas temperaturas elevadas e, caso a alvenaria não apresente danos visíveis, a resistência dos tijolos pode ser considerada semelhante ao seu valor original. Quanto à argamassa de ligação, como contem areia com uma determinada composição mineral, o seu comportamento irá ser muito idêntico ao dos betões.

Uma vez que os elementos estruturais onde as paredes de alvenaria assentam, normalmente lajes e, em particular as vigas de aço não protegidas, sofrem dilatações consideráveis, podem causar também nas paredes de alvenaria movimentos significativos e em algumas situações o suficiente para as derrubar. Por este motivo as paredes que apresentem desalinhamentos devem ser alvo de atenção especial, uma vez que será colocada em causa a eficácia das restrições laterais fornecidas por elementos estruturais que também deverão ser avaliados. É importante referir que este tipo de danos pode mesmo ocorrer em locais mais afastados da zona onde ocorreu o incêndio.

### 3. ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES RESIDUAIS

Ao seleccionar os ensaios e testes para uma avaliação em particular, devemos primeiro definir quais as informações que procuramos obter, incluindo requisitos como o número de ensaios, nível de precisão, etc. Deve considerar-se o uso de técnicas que fornecerão diretamente as informações necessárias. Quando a observação ou medição direta não for possível, como costuma ser o caso, podem ser consideradas outras técnicas que nos irão fornecer essas informações indiretamente (Ex.: através da velocidade de impulso ultrassónico obter a resistência). Como é evidente, existe um vasto leque de ensaios disponíveis no campo da engenharia, tendo vários graus de adequação, dependendo das circunstâncias e dos objetivos da investigação.

Sempre que possível, devemos tentar estabelecer uma correlação entre ensaios realizados em zonas afetadas e em zonas não afetadas pelo incêndio, com a finalidade de se tentar perceber o grau de degradação dos materiais e elementos estruturais.

A perfuração percussiva ou rotativa em betão, alvenaria, aço ou outros materiais pode fornecer amostras para análises laboratoriais. As perfurações ou carotes são normalmente executados em locais não críticos da maioria das estruturas (zonas de momento fletor nulo, armaduras secundárias).

#### 4. ESPECIFICAÇÃO DAS REPARAÇÕES

Depois de avaliados os danos, temos em nossa posse um conjunto de informações que nos irão permitir tomar decisões quanto ao tipo de reparações a efetuar.

Quando pensamos em reparar um elemento estrutural danificado por incêndio, fica implícita a tentativa de lhe restituir as funções e capacidades de que dispunha inicialmente e que lhe foram retiradas pelos danos causados. Algumas das suas propriedades originais, como a resistência mecânica, resistência ao fogo, entre outras, serão ou não repostas, mediante a adoção de um conjunto de critérios de reparação em função das patologias detetadas, viabilidade técnica, confiabilidade destas reparações e a respetiva avaliação de custos.

As reparações podem ser totais, sendo desta forma restituídas as funções originais da estrutura ou do edifício. Podem também ser parciais e com imposição de eventuais restrições funcionais. Podemos ainda considerar a hipótese de alterações quanto ao tipo de utilização inicial preconizada para determinado edifício e, no limite, poderá veicular-se a possibilidade de demolição total com posterior reconstrução.

Quanto aos processos de reparação a considerar e que entendamos ser os mais adequados para determinada situação, devemos sempre garantir tanto quanto possível, a perfeita ligação entre os materiais a usar e os existentes, assim como, a qualidade destes materiais em termos de durabilidade e resistência, não apenas mecânica, mas também ao fogo. O processo de reparação deve por isso, garantir a restauração da capacidade de carga original e da resistência ao fogo dos elementos, assim como assegurar o restabelecimento das condições de serviço da estrutura e, sempre que possível, corrigir os erros de projeto ou de construção que eventualmente possam existir.

Os trabalhos de demolição requerem cuidados acrescidos e devemos garantir que os mesmos não irão interferir, quer com a estrutura a permanecer quer com as reparações já efetuadas. Deve ter-se igualmente cuidados com libertações repentinas de energia aquando de demolições de elementos pré-tensionados, assim como proceder ao correto escoramento de pilares uma vez que o seu comprimento de encurvadura pode ser alterado [6].

Todos os trabalhos de reparação e reabilitação de estruturas requerem uma planificação extremamente ponderada, definindo claramente todas as fases de intervenção e garantindo uma fiscalização contínua uma vez que estaremos perante um conjunto de trabalhos de elevada complexidade que assim o exigem.

##### 4.1 Tipo de material

###### 4.1.1 Betão armado e pré-esforçado

As reparações de estruturas de betão que sofreram danos por incêndio, requerem normalmente a remoção do betão que esteve sujeito a temperaturas superiores a 300°C. A zona afetada, apresenta uma coloração rosa e o seu posicionamento em termos de profundidade pode ser obtido através da execução de carotes ou por intermédio de cálculo analítico a partir da taxa e duração do aquecimento e das suas características específicas.

Os locais onde se tenha verificado *spalling*, devem ser alvo de inspeção rigorosa tendo atenção à possível exposição de armaduras ao incêndio e conseqüente comprometimento da sua resistência, que caso se confirme, deverá ser substituída ou efetuado a um reforço adequado.

O facto de algumas zonas dos elementos apresentarem bom aspeto, não significa necessariamente bom estado. O recurso a processos percussivos permite que o betão danificado se desprenda, e desta forma verificar a fragilidade existente relativa ao recobrimento das armaduras, pelo que todo o material que se encontrar nesta situação deve ser retirado. Após estas remoções, pode recorrer-se ao tratamento das superfícies com recurso a jato de água de elevada pressão, com o objetivo de limpar fuligens e outras impurezas, assim como a remoção de pequenas fissuras

superficiais que possam existir. Aquando destas operações, deve proceder-se à observação e análise de possíveis fendas contínuas de maior profundidade que de certa forma possam colocar em risco a estabilidade dos elementos.

Depois das superfícies devidamente tratadas, deverá proceder-se à reposição de material, podendo recorrer-se ao betão projetado, ou outros, como resinas de reparação, argamassas de cimento ou modificadas com polímeros, rebocos de base gesso e preparações de fibras minerais projetadas (vermiculite e perlite) entre outros. Podem também ser utilizados outros processos de reforço estrutural, com o recurso a técnicas e materiais compósitos (CFRP - *carbon fiber reinforced plastic* e GFRP - *glass fiber reinforced polymer*).

#### 4.1.2 Aço

Caso um incêndio se revele de grande severidade, será muito difícil reutilizar uma estrutura de aço não protegida uma vez que, se irão verificar grandes distorções na generalidade dos elementos que a compõem. Caso o incêndio se revele menos severo, só irá ser afetado um número limitado de elementos, e a linearidade, distorção e propriedades mecânicas desses elementos poderão ser facilmente verificadas. A verificação *in situ* da dureza pode ser um meio rápido e relativamente fácil de determinar a resistência aproximada do aço.

### 4.2 Elemento estrutural

#### 4.2.1 Reparação de lajes

Como constatado anteriormente, os aços endurecidos a frio apresentam uma maior sensibilidade quando submetidos a temperaturas elevadas e, este problema está associado à sua utilização nas lajes, e no caso de apresentarem um elevado grau de deformação deverá optar-se pela sua demolição integral. Se esta deformação não apresentar valores muito elevados, significa, portanto, que as propriedades mecânicas do material não sofreram grandes alterações pelo que, se poderá proceder à reparação, procedendo à remoção do betão deteriorado, limpeza das armaduras e em caso de necessidade ao seu reforço.

Seguidamente devem criar-se condições de aderência adequadas para se proceder à reposição do betão. Todo este processo pode ser conseguido recorrendo a métodos e ferramentas manuais ou pneumáticas leves, ou ainda, e como melhor opção, através da utilização de jato de água de elevada pressão (hidrodemolição), conseguindo-se os passos descritos anteriormente através de uma única operação [7], assegurando uma melhor fiabilidade nas condições de aderência entre o betão existente no elemento e aquele que vai ser repostado [8]. Pode também tornar-se conveniente a aplicação de um adesivo, preferivelmente uma resina epoxídica, na superfície de contacto [9].

Em algumas situações, pode haver a necessidade de se proceder à instalação de armadura adicional de reforço que pode ser fixa por amarração ou soldadura (Figura 5a). Esta armadura é normalmente fixada com recurso a espigões que são colados com resinas epoxídicas.

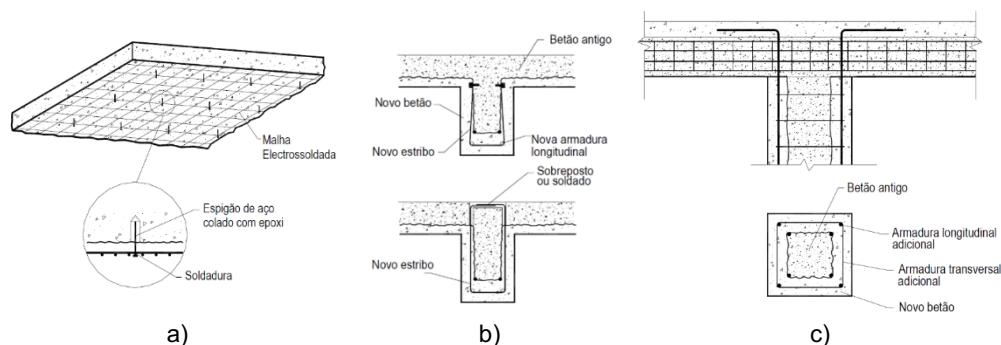


Figura 5: Reparação de a) lajes, b) vigas e c) pilares de betão (adaptado de [6])

#### 4.2.2 Reparação de vigas

A reparação de vigas é muito semelhante à que se efetua nas lajes [10]. Nas vigas, normalmente o reforço é realizado aumentando-se as dimensões originais na sua parte inferior (Figura 5b). Em termos construtivos, a

betonagem do “encamisamento” pode apresentar alguma complexidade. Uma das alternativas passa por realizar furações na parte superior, por onde se poderá injetar o betão [9].

Também se poderá recorrer a betão projetado, no entanto deve ter-se especial cuidado na sua dosagem, no sentido de garantir boas condições de aderência ao material original e deverá evitar-se zonas de segregação do betão.

Quando se verificam grandes extensões de fissuração, as mesmas podem ser reparadas através da injeção de uma resina líquida, normalmente epoxídica [10]. Caso se verifiquem danos muito expressivos, atingindo grandes profundidades, a solução pode passar pela total demolição da viga, procedendo-se posteriormente à sua reconstrução.

#### 4.2.3 Reparação de pilares

O reforço de pilares de betão, normalmente realiza-se envolvendo o pilar debilitado dentro de um adicional de secção e as suas dimensões originais nem sempre se poderão manter. Poderá, no entanto, recorrer-se betões de elevado desempenho, utilizando superplastificantes e agregados de menor dimensão com o intuito de se reduzir a espessura dessa camada (Figura 5c).

Em algumas situações pode haver lugar à substituição de armaduras que tenham ficado expostas ao incêndio. Relativamente à camada adicional deverá proceder-se à colocação de armaduras, longitudinal e transversal, que normalmente deverão ser ligadas às armaduras originais por amarração ou soldadura. Deve também procurar dar-se continuidade as estas armaduras junto aos nós através de furações para os pisos adjacentes.

São inerentes a este processo custos extremamente elevados, uma vez que se trata de um conjunto de manipulações de grande complexidade havendo a necessidade de se recorrer a mão-de-obra especializada.

## 4. CONCLUSÕES

A reabilitação ou reparação de uma estrutura que tenha sido afetada por um incêndio, é normalmente possível, seja em parte ou no seu todo. Esta possibilidade deve ter em consideração muitos fatores, sendo que um dos mais importantes será a determinação do grau de degradação das propriedades mecânicas dos materiais que a constituem. Para se efetuar o levantamento dos danos sofridos, será necessário levar a cabo um conjunto de procedimentos com vista à sua avaliação e classificação.

Para a determinação das propriedades mecânicas residuais, recorre-se normalmente a ensaios *in-situ* ou laboratoriais. Existem vários ensaios no campo da engenharia, tendo vários graus de adequação, dependendo das circunstâncias e dos objetivos da investigação.

Os danos estruturais e não estruturais irão condicionar os processos de decisão, relativamente à recuperação ou demolição de determinados elementos e por vezes quanto ao tipo de utilização futura.

Devem ser considerados os processos de reparação mais adequados, de acordo com os materiais envolvidos e a singularidade de cada situação, no entanto eles devem sempre tentar garantir uma perfeita ligação entre os materiais a usar e os existentes, assim como a sua qualidade, durabilidade e resistência, tanto mecânica como ao fogo.

## REFERÊNCIAS

- [1] ISE, “*Appraisal of existing structures*”, Third edition, October. 2010.
- [2] Concrete Society, “*Technical Report 68 - Assessment, design and repair of fire-damaged concrete structures*”, March, 2008.
- [3] Y. Li, X. Lu, H. Guan, M. Ying, and W. Yan, “*A Case Study on a Fire-Induced Collapse Accident of a Reinforced Concrete Frame-Supported Masonry Structure*”, *Fire Technol.*, vol. 52, no. 3, pp. 707–729, 2016, doi:

10.1007/s10694-015-0491-0.

- [4] C. Maraveas, Z. Fasoulakis, and K. D. Tsavdaridis, “*Post-fire assessment and reinstatement of steel structures*”, *J. Struct. Fire Eng.*, 2017, doi: 10.1108/JSFE-03-2017-0028.
- [5] R. J. Ross and R. H. White, “*Wood and Timber Condition Assessment Manual, Second Edition*”, November, p. 92, 2014.
- [6] J. P. C. Correira, A. J. M.; Rodrigues, “*Reabilitação de edifícios danificados por incêndio – Parte 1 – Avaliação e classificação dos danos | Parte 2 – Reparação dos danos*”, *Eng. e Vida*, pp. 48–61, 2005.
- [7] T. Z. Harmathy, “*Fire Safety Design and Concrete*”, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1993.
- [8] J. Silfwerbrand, “*Improving concrete bond in repaired bridge decks*”, *Concr. Int.*, vol. 12, no. 9, pp. 61–66, 1990.
- [9] A. del Río Bueno, “*Patología, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado de edificación*”, 2008.
- [10] M. F. Cánovas, “*Patología y Terapéutica del Hormigón Armado*”, Madrid, 1994.
- [11] G. A. Khoury, “*Effect of fire on concrete and concrete structures*”, *Prog. Struct. Eng. Mater.*, 2000, doi: 10.1002/pse.51.

# SECÇÕES ESBELTAS EM AÇO INOXIDÁVEL SUJEITAS A FLEXÃO E A COMPRESSÃO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO



**Flávio Arrais** §§§§§§§§  
Inv. Doutorado  
RISCO/DECivil  
Univ. de Aveiro



**Nuno Lopes**  
Prof. Associado  
RISCO/DECivil  
Univ. de Aveiro



**Paulo Vila Real**  
Prof. Catedrático  
RISCO/DECivil  
Univ. de Aveiro

## SUMÁRIO

O presente trabalho apresenta um estudo numérico sobre o comportamento ao fogo de elementos lateralmente restringidos, com secções transversais esbeltas em aço inoxidável, sujeitos à flexão e à compressão axial. São consideradas secções em I e secções retangulares ocas (RHS) com o objetivo de avaliar a precisão das metodologias de cálculo do Eurocódigo 3 (EC3) na redução das larguras de cada elemento da secção transversal (elementos internos e em consola nas secções em I, ou elementos internos nas secções ocas), de acordo com o método das larguras efetivas. Concluiu-se que o EC3 é em geral demasiado conservativo, especialmente para secções transversais ocas.

**PALAVRAS-CHAVE:** resistência ao fogo; aço inoxidável; secções esbeltas; análise numérica.

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar do custo inicial do aço inoxidável, a sua aplicação como material estrutural tem vindo a aumentar [1,2]. O aço inoxidável apresenta diferentes vantagens quando comparado com o aço carbono convencional. A resistência à corrosão e a aparência estética são as mais conhecidas, mas a sua maior resistência ao fogo também pode ser uma vantagem decisiva [3].

O aço inoxidável austenítico é geralmente o mais usado para aplicações estruturais, mas tem-se mostrado recentemente um crescente interesse no uso do aço ferrítico e austenítico-ferrítico (Duplex) para fins estruturais. Algumas das principais vantagens apresentadas são a menor percentagem de níquel no ferrítico, reduzindo assim o seu custo inicial, e as elevadas resistências ao desgaste e à corrosão, características dos austenítico-ferríticos. Embora o tópico da encurvadura local a temperaturas elevadas já tenha sido estudado por diferentes autores [4-9], os trabalhos abordaram este assunto apenas para elementos em aço carbono. A investigação do efeito de encurvadura local para secções em aço inoxidável a temperaturas elevadas começa a ser desenvolvida, mas com foco em perfis I [10].

Segundo a EN 1993-1-2 [3], a curva tensão-deformação do aço inoxidável a temperaturas elevadas é caracterizada por apresentar um comportamento não linear com uma longa fase de endurecimento quando comparada com a lei constitutiva do aço carbono. Como as regras de dimensionamento ao fogo da EN 1993-1-2 [3] aplicadas para o aço inoxidável são baseadas nas formulações desenvolvidas para elementos em aço carbono [11,12], apesar do

---

§§§§§§§§ Autor correspondente – RISCO, Dep. de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal  
email: arrais.f@ua.pt <http://www.ua.pt/risco>

comportamento material diferente, é necessário aprofundar os conhecimentos sobre o comportamento estrutural do aço inoxidável a temperaturas elevadas.

Este trabalho apresenta um estudo numérico sobre o comportamento ao fogo de secções transversais esbeltas em aço inoxidável sujeitas à flexão e à compressão axial. São analisadas secções em I e secções retangulares ocas (RHS) com o objetivo de avaliar a precisão das formulações de cálculo do EC3 [3] na redução das larguras de cada elemento da secção transversal (elementos internos em secções ocas, ou internos e em consola em secções em I), de acordo com o método da largura efetiva. Embora o EC3 use o conceito de placas simplesmente apoiadas para o método da largura efetiva, não distinguindo o conceito entre secções I e RHS, a disposição dos diferentes elementos que compõem estes dois tipos de secção transversal possui diferentes graus de restrição, podendo influenciar a resistência última da secção transversal.

No estudo paramétrico apresentado neste trabalho foram considerados diferentes tipos de aço inoxidável (Austenítico, Ferrítico e Duplex, com diferentes leis constitutivas), esbeltezas da secção transversal, temperaturas elevadas uniformes (de 350 °C a 700 °C) e condições de carregamento (compressão e flexão). Este estudo foi realizado aplicando análises material e geometricamente não lineares (GMNIA), utilizando o programa de elementos finitos SAFIR [13].

Por fim são feitas comparações entre as capacidades de carga última obtidas numericamente das secções consideradas, os métodos de cálculo ao fogo do EC3 e a aplicação de uma proposta de cálculo recente para placas esbeltas em aço inoxidável [10].

## 2. REGRAS DE CÁLCULO AO FOGO

Segundo a EN 1993-1-2 [3], a resistência da secção de um elemento em aço inoxidável ao fogo é calculada através do mesmo procedimento desenvolvido para elementos em aço carbono, alterando as propriedades mecânicas do material considerando as temperaturas elevadas na secção. Relativamente à classificação da secção transversal, a Eq. (1) foi aplicada para calcular o parâmetro  $\varepsilon_\theta$ , necessário para a determinação dos limites de classificação do EC3 [14].

$$\varepsilon_\theta = 0,85 \left[ \frac{235}{f_y} \frac{E}{210000} \right]^{0,5} \quad (1)$$

O valor da resistência da secção de elementos axialmente comprimidos com secções de Classe 1, 2 ou 3 sujeitos a temperatura uniforme deve ser determinado a partir da Eq. (2). Para secções de Classe 4, de acordo com o Anexo E da EN 1993-1-2, deve ser considerada a área efetiva ( $A_{eff}$ ) em vez da área bruta da secção transversal, determinada com as propriedades da secção efetiva obtidas a partir da EN 1993-1-5 [12] à temperatura normal.

$$N_{fi,\theta,Rd} = A f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta} \quad (2)$$

Em situação de incêndio, são aceitáveis maiores deformações quando comparadas com as deformações obtidas à temperatura normal. Desta forma, em vez da tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2% normalmente utilizada à temperatura normal, para secções das Classes 1, 2 e 3 a temperaturas elevadas, a tensão correspondente a uma extensão total de 2% deve ser adotada como tensão de cedência [3], como se apresenta na Eq. (3).

$$f_{y,\theta} = f_{2,\theta} = k_{2,\theta} f_y \quad (3)$$

No entanto, para secções transversais de Classe 4, de acordo com o Anexo E da EN 1993-1-2, deve ser utilizada como tensão de cedência o valor da tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2%, Eq. (4). Os fatores de redução da tensão de cedência apresentados encontram-se no Anexo C da EN 1993-1-2 para o aço inoxidável a temperaturas elevadas, para os diferentes tipos de aço inoxidável analisados.

$$f_{y,\theta} = f_{0,2p,\theta} = k_{0,2p,\theta} f_y \quad (4)$$

Para vigas, o valor de cálculo do momento resistente de uma secção transversal, com uma determinada temperatura uniforme, deve ser determinado a partir de:

$$M_{fi,\theta,Rd} = W_y f_{y,\theta} / \gamma_{M,fi} \quad (5)$$

Sendo  $W_y$  para as Classes 1 e 2 o módulo de flexão plástico,  $W_{pl,y}$ , para a Classe 3 o módulo de flexão elástico,  $W_{el,y}$ , e para as secções de Classe 4 o módulo de flexão efetivo,  $W_{eff,y}$ , à temperatura normal, determinado com as propriedades da secção efetiva obtidas a partir da EN 1993-1-5. A área efetiva e o módulo de flexão efetivo são determinados através da aplicação do método da largura efetiva considerando a redução da resistência devido aos efeitos de encurvadura local [12]. Neste sentido, a EN 1993-1-4 [15] apresenta equações específicas para a determinação dos fatores de redução da placa, para a largura dos elementos que compõem as secções em aço inoxidável (Quadro 1).

Quadro 1: Fatores de redução para os elementos de secções em aço inoxidável

Tipo de elemento	Fator de redução
Elementos externos soldados	$\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,242}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1$
Elementos internos soldados	$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1$

O valor da esbelteza da placa,  $\bar{\lambda}_p$ , é determinado pela Eq. (6):

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} \quad (6)$$

Xing et al. [10] propõem a aplicação dos fatores de redução da placa do Quadro 2 com a utilização da tensão correspondente a 2% da deformação total para a tensão de cedência do aço inoxidável de secções transversais de Classe 4 a temperaturas elevadas, como é feito para as restantes classes de secção. A esbelteza da placa a elevadas temperaturas é determinada por  $\bar{\lambda}_{p,\theta} = \xi_\theta \bar{\lambda}_p$  com o fator a elevadas temperaturas  $\xi_\theta = \sqrt{k_{2,\theta}/k_{E,\theta}}$  sendo  $\psi$  a razão entre os momentos das extremidades ( $-1 \leq \psi \leq 1$ ).

Quadro 2: Fatores de redução para os elementos de secção esbeltos em aço inoxidável propostos por Xing et al. [10]

Tipo de elemento	Tipo de aço	Fator de redução
Elementos externos	Austenítico	$\rho = 1,0 \text{ para } \bar{\lambda}_{p,\theta} \leq \bar{\lambda}_{p0,\theta}$ $\rho = \frac{0,6}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{0,6}} - \frac{0,075}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{1,2}} \text{ para } \bar{\lambda}_{p,\theta} > \bar{\lambda}_{p0,\theta}$ $\bar{\lambda}_{p0,\theta} = 0,237\sqrt{\xi_\theta}$
	Ferrítico e Duplex	$\rho = 1,0 \text{ para } \bar{\lambda}_{p,\theta} \leq \bar{\lambda}_{p0,\theta}$ $\rho = \frac{0,67}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{0,6}} - \frac{0,075}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{1,2}} \text{ para } \bar{\lambda}_{p,\theta} > \bar{\lambda}_{p0,\theta}$ $\bar{\lambda}_{p0,\theta} = 0,344\sqrt{\xi_\theta}$
Elementos internos	Austenítico	$\rho = 1,0 \text{ para } \bar{\lambda}_{p,\theta} \leq \bar{\lambda}_{p0,\theta}$ $\rho = \frac{0,54}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{0,75}} - \frac{0,015(3 + \psi)}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{1,5}} \text{ para } \bar{\lambda}_{p,\theta} > \bar{\lambda}_{p0,\theta}$ $\bar{\lambda}_{p0,\theta} = (0,27 + \sqrt{0,0279 - 0,015\psi})^{1,33} \sqrt{\xi_\theta}$
	Ferrítico e Duplex	$\rho = 1,0 \text{ para } \bar{\lambda}_{p,\theta} \leq \bar{\lambda}_{p0,\theta}$ $\rho = \frac{0,6}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{0,75}} - \frac{0,015(3 + \psi)}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{1,5}} \text{ para } \bar{\lambda}_{p,\theta} > \bar{\lambda}_{p0,\theta}$ $\bar{\lambda}_{p0,\theta} = (0,3 + \sqrt{0,045 - 0,015\psi})^{1,33} \sqrt{\xi_\theta}$

### 3. CASOS DE ESTUDO E MODELAÇÃO NUMÉRICA

Foi desenvolvido um estudo paramétrico com base na análise de elementos finitos para determinar e comparar a capacidade de carga última de secções I e RHS submetidas à compressão ou flexão. Os resultados obtidos a partir das fórmulas do EC3 e da nova proposta para secções em aço inoxidável ao fogo [10] são comparados com a capacidade de carga última numérica da secção transversal.

As secções I e RHS consideradas neste estudo possuem almas equivalentes, sempre de Classe 4 (esbeltas), sendo os banzos de Classe 1. As secções em I têm 150 mm de altura e 140 mm de largura, variando as espessuras, e as secções RHS são analisadas como secções em caixão soldadas com 150 mm de altura e 100 mm de largura. Estes elementos restringidos têm 1 m de comprimento e estão sujeitos às temperaturas de 350 °C, 500 °C, 600 °C e 700 °C. São considerados os tipos de aço inoxidável austenítico (1.4301), ferrítico (1.4003) e duplex (1.4462).

Nos modelos de elementos finitos (Figuras 1 e 2), são utilizados elementos finitos de casca retangulares com quatro nós, com seis graus de liberdade cada (três translações e três rotações), com 10 mm de comprimento ao longo da secção transversal do elemento em placas planas. Durante todas as análises, as placas de topo estão à temperatura normal e têm 10 vezes a espessura da parede do elemento mais espesso. Na direção longitudinal o tamanho da malha é também de 10 mm. As cargas são aplicadas na direção paralela ao eixo dos elementos nos nós das placas de extremidade, de acordo com a distribuição linear das tensões resultantes da flexão simples, em torno do eixo forte, ou da compressão axial. As restrições aplicadas reproduzem apoios articulados e restringem a encurvadura para fora do plano. O presente estudo não considerou as tensões residuais por estas apresentarem baixa influência nestes elementos a temperaturas elevadas.

As formas obtidas a partir dos modos de encurvadura local, aplicando o programa CAST3M [16] em conjunto com a interface RUBY [17], foram utilizadas para definir as imperfeições geométricas iniciais. De acordo com o Anexo C da EN 1993-1-5 [12], as amplitudes das imperfeições geométricas foram obtidas considerando 80% das tolerâncias geométricas de fabrico prescritas:  $0,8b/200$  (para  $b/t \leq 80$ ) ou  $0,8b^2/(16000t)$  (para  $80 < b/t \leq 200$ ) ou  $0,8b/80$  (para  $b/t > 200$ ) (sendo sempre maior que a espessura  $t$ ) como imperfeição local para secções em I,

segundo a EN 1090-2 [18]; e  $0,8b/100$  como imperfeição local para secções RHS, de acordo com a EN 10219-2 [19], onde  $b$  é o comprimento da alma ou do banzo, dependendo do maior valor de deformação.

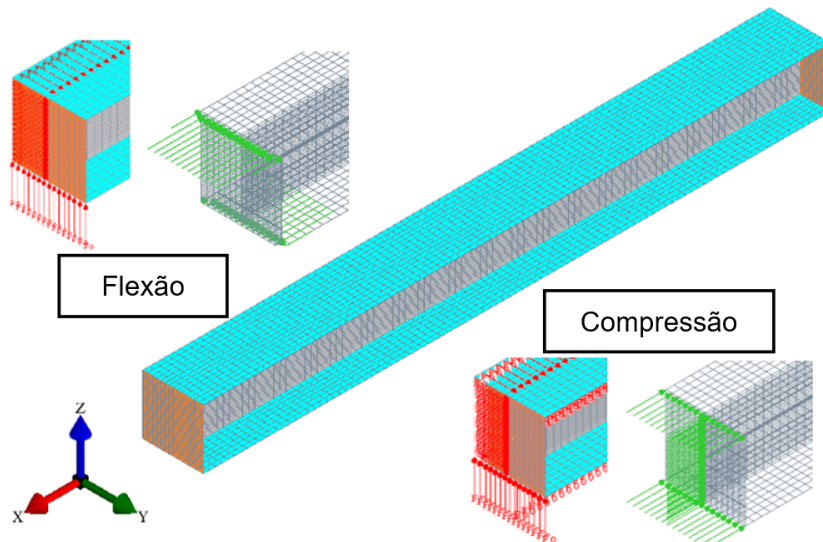


Figura 1: Modelo numérico adotado para perfis I e respectivas cargas e restrições aplicadas

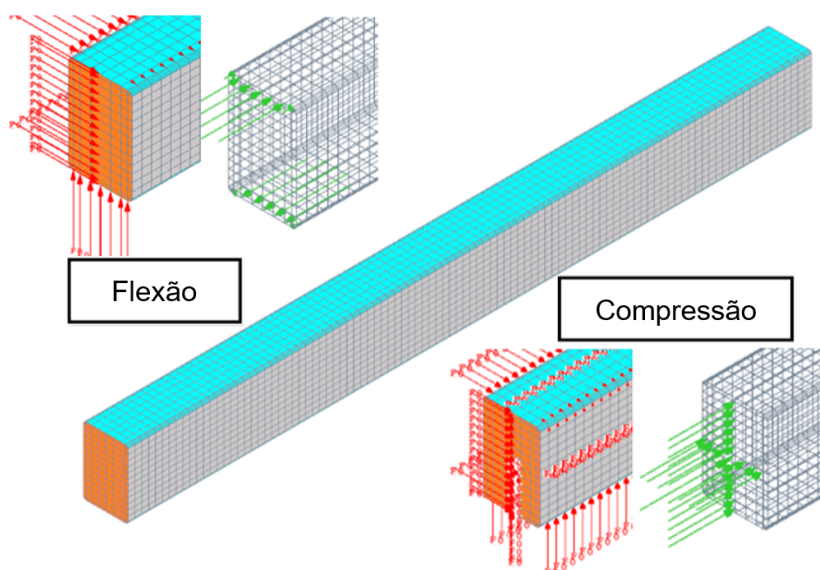


Figura 2: Modelo numérico adotado para perfis RHS e respectivas cargas e restrições aplicadas

#### 4. RESULTADOS NUMÉRICOS E AS REGRAS DE CÁLCULO AO FOGO

Nesta secção são apresentados os resultados do estudo paramétrico. As capacidades de carga última obtidas numericamente são comparadas com as regras de cálculo da EN 1993-1-2 (Figuras 3 e 4) e com as regras de cálculo propostas por Xing et al. [10] (Figuras 5 e 6). A Figura 7 apresenta exemplos dos modos de colapso obtidos a partir da análise numérica para elementos com secções em I e RHS sujeitos à compressão.

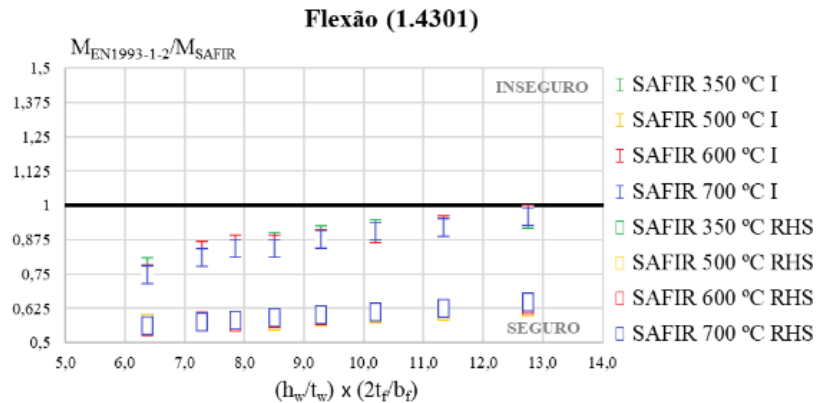


Figura 3: Comparação entre o EC3 e os resultados numéricos para secções transversais I e RHS em aço inoxidável austenítico à flexão

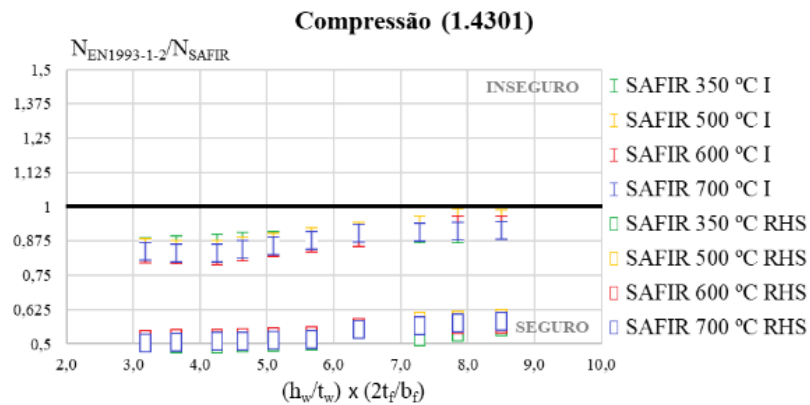


Figura 4: Comparação entre o EC3 e os resultados numéricos para secções transversais I e RHS em aço inoxidável austenítico à compressão

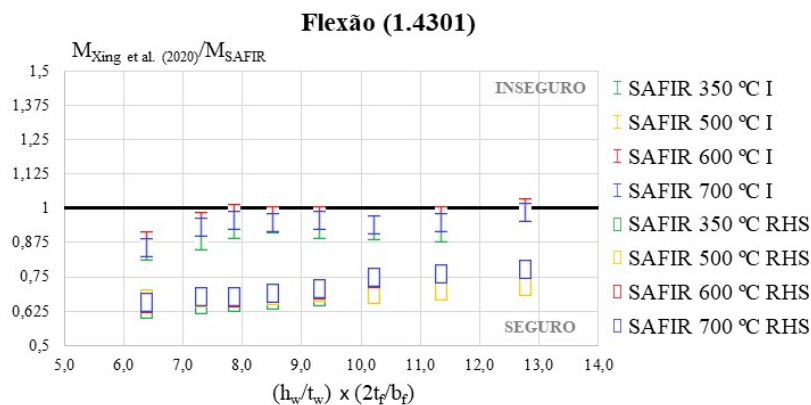


Figura 5: Comparação entre a proposta de Xing et al. [10] e os resultados numéricos para secções transversais I e RHS em aço inoxidável austenítico à flexão

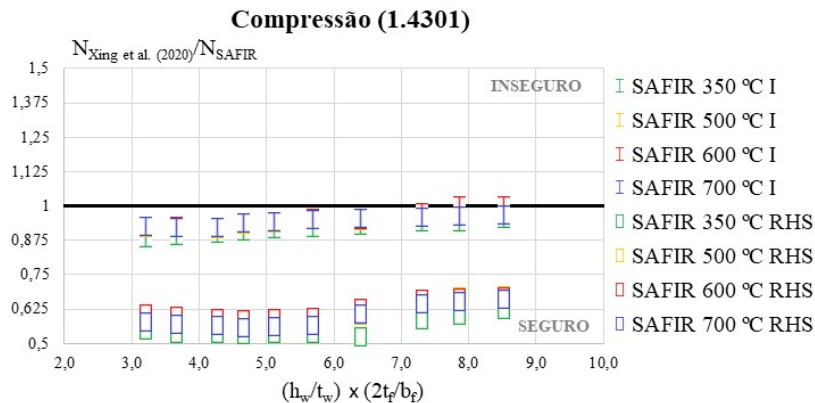


Figura 6: Comparação entre a proposta de Xing et al. [10] e os resultados numéricos para secções transversais I e RHS em aço inoxidável austenítico à compressão

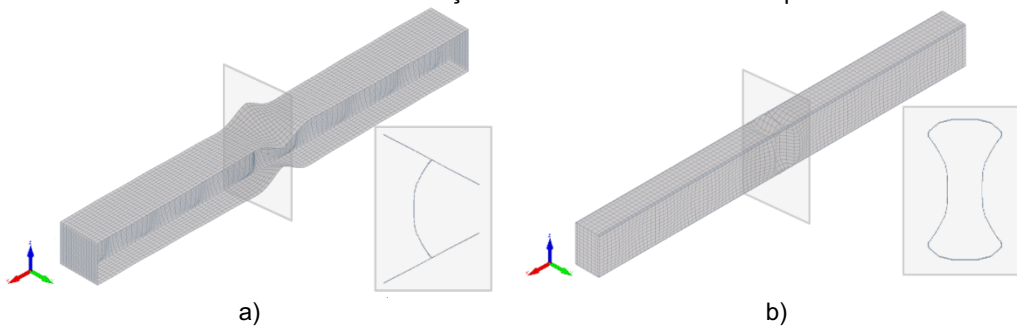


Figura 7: Exemplo do modo de colapso numérico obtido para elementos com a) secção em I e b) RHS sujeitos à compressão e a temperaturas elevadas.

O Quadro 3 apresenta a análise estatística para os elementos fletidos com base num total de 240 resultados numéricos e o Quadro 4 analisa os elementos comprimidos considerando um total de 336 resultados numéricos (ambas as tabelas considerando todos os resultados para os diferentes tipos de aço inoxidável em estudo). Nesta análise são considerados os critérios de validação propostos por Kruppa [20], que consistem em verificar se a média dos valores está segura, se o valor máximo inseguro é inferior a 15% e se existem menos de 20% dos casos analisados inseguros.

Quadro 3: Análise estatística com resultados à flexão para os diferentes tipos de aço inoxidável

Flexão	Austenítico				Ferrítico				Duplex			
	$\mu$	s	Máx	%Ins	$\mu$	s	Máx	%Ins	$\mu$	s	Máx	%Ins
EN1993-1-2 (I)	0.88	0.06	0.97	0.0	0.70	0.02	0.72	0.0	0.85	0.05	0.90	0.0
Xing et al. (I)	0.95	0.04	1.01	7.7	0.76	0.03	0.81	0.0	0.86	0.03	0.93	0.0
EN1993-1-2 (RHS)	0.60	0.03	0.66	0.0	0.54	0.05	0.64	0.0	0.56	0.05	0.63	0.0
Xing et al. (RHS)	0.70	0.04	0.78	0.0	0.67	0.06	0.79	0.0	0.69	0.05	0.80	0.0

Quadro 4: Análise estatística dos resultados à compressão para diferentes tipos de aço inoxidável

Compressão	Austenítico				Ferrítico				Duplex			
	$\mu$	S	Máx	%Ins	$\mu$	s	Máx	%Ins	M	S	Máx	%Ins
EN1993-1-2 (I)	0.88	0.04	0.96	0.0	0.78	0.04	0.86	0.0	0.85	0.04	0.97	0.0
Xing et al. (I)	0.94	0.03	1.00	7.5	0.82	0.04	0.92	0.0	0.89	0.06	1.00	2.3
EN1993-1-2 (RHS)	0.53	0.03	0.59	0.0	0.62	0.03	0.66	0.0	0.60	0.03	0.66	0.0
Xing et al. (RHS)	0.60	0.05	0.67	0.0	0.73	0.04	0.77	0.0	0.70	0.04	0.76	0.0

A partir das comparações apresentadas nos Quadros 3 e 4, pode-se concluir que ambas as abordagens de cálculo estão maioritariamente do lado da segurança para as secções I e os mesmos resultados estão relativamente bem ajustados à proposta de cálculo de Xing et al. [10], sendo possível destacar os resultados do aço inoxidável austenítico (como também demonstrado nas Figuras 3-6). Para as secções RHS as metodologias abordadas também são seguras, porém mais conservativas, especialmente na comparação com as regras de cálculo da EN 1993-1-2, devido à rigidez proporcionada pelos banzos, que são elementos internos da secção RHS, e às almas esbeltas.

### 3. CONCLUSÕES

Apresentou-se um estudo paramétrico sobre a resistência de secções em I esbeltas e secções retangulares ocas (RHS) em aço inoxidável a temperaturas elevadas de elementos à flexão ou à compressão.

Fez-se uma comparação entre as capacidades de carga últimas obtidas numericamente, as regras de cálculo do Eurocódigo 3 e a proposta de cálculo de Xing et al. [10], levando à conclusão de que ambas as metodologias são muito conservativas para as secções RHS. Também foi possível observar que a proposta de Xing et al. [10] apresenta uma melhor aproximação dos resultados numéricos, principalmente para a secção I, quando comparada à metodologia de cálculo do EC3.

Por último, deve referir-se que mais estudos devem ser realizados com vista ao desenvolvimento de novas fórmulas de cálculo, ou ajustes às atuais regras, de modo a estimar com maior precisão o comportamento de elementos internos de secções tubulares, como as secções RHS aplicadas neste estudo.

### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto StaSteFi - Dimensionamento ao fogo de elementos estruturais em aço inoxidável, PTDC/ECI-EGC/30655/2017, suportado pelo orçamento do POCI Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020) na sua componente FEDER e pelo orçamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

### REFERÊNCIAS

- [1] Gardner, L. 2005. The use of stainless steel in structures. *Progress in Structural Engineering and Materials*, vol 7, pp 45-55.
- [2] Euro Inox, SCI, Design Manual for Structural Stainless Steel, 3rd edition, 2006.
- [3] CEN, "EN 1993-1-2, Eurocode 3: Design of Steel Structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design", Belgium, 2005.
- [4] Couto, C., Vila Real, P., Lopes, N. & Zhao, B., Effective width method to account for the local buckling of steel thin plates at elevated temperatures. *Thin-Walled Structures*, 84, 2014, 134–149.
- [5] Couto, C., Fire design of steel members with class 4 cross-section, PhD thesis, University of Aveiro, Portugal, 2015.
- [6] FIDESC4, Fire Design of Steel Members with Welded or Hot-Rolled Class 4 Cross-Section, RFCS-CT-2011-2014, Technical Report No. 5, 2014.
- [7] Knobloch, M., & Fontana, M., Strain-based approach to local buckling of steel sections subjected to fire, *Journal of Constructional Steel Research*, 62(1–2), 2006, 44–67.
- [8] Maraveas, C., Gernay, T. & Franssen, J-M., Amplitude of local imperfections for the analysis of thin-walled steel members at elevated temperatures, ASFE'17, Manchester, UK, 2017.
- [9] Quiel, S. E., Garlock, M. E. M., Calculating the buckling strength of steel plates exposed to fire, *Thin-Walled Structures*, 48(9), 2010, 684–695.

- [10] Xing, Z., Kucukler, M., Gardner, L., Local buckling of stainless steel plates in fire, *Thin-Walled Structures*, 148, 2020, 106570.
- [11] CEN – EN 1993-1-1, Eurocode 3: Design of steel Structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Belgium, 2005.
- [12] CEN – EN 1993-1-5, Eurocode 3: Design of Steel Structures - Part 1-5: Plated structural elements, Belgium, 2006.
- [13] Franssen, J.-M.; Gernay, T. Modelling structures in fire with SAFIR®: theoretical background and capabilities, *Journal of Structural Fire Engineering*, 2017.
- [14] Franssen, J.-M. & Vila Real, P., *Fire Design of Steel Structures*, ECCS, Ernst & Sohn, a Wiley Company, 2nd edition, 2015.
- [15] CEN – EN 1993-1-4, Eurocode 3: Design of steel Structures - Part 1-4: General rules – Supplementary Rules for Stainless steels, Belgium, 2006a.
- [16] CAST3M, sponsored by French Atomic Energy Commission, 2012.
- [17] Couto, C., Vila Real, P., Lopes, N., RUBY – an interface software for running a buck-ling analysis of SAFIR models using Cast3M, University of Aveiro, 2013.
- [18] CEN – EN 1090-2, Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for the execution of steel structures, Belgium, 2018.
- [19] CEN – EN 10219-2, Cold Formed Welded Steel Structural Hollow Sections - Part 2: Tolerances, Dimensions and Sectional Properties, Belgium, 2019.
- [20] Kruppa, J. Eurocodes – fire parts, proposal for a methodology to check the accuracy of assessment methods, CEN TC 250, Horizontal Group Fire, Document n° 99/130, 1999.

## ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS AO FOGO



**Tiago M. Orantos. Borrhalho** \*\*\*\*\*  
Mestrando em  
Segurança aos  
Incêndios Urbanos  
UC - Coimbra



**Domingos A. Barbosa Gonçalves**  
Mestrando em  
Segurança aos  
Incêndios Urbanos  
UC - Coimbra



**João Paulo C. Rodrigues**  
Professor  
UC - Coimbra

### SUMÁRIO

O dimensionamento estrutural de um edifício deve ter em conta a possibilidade de ocorrência de um incêndio. Este facto é particularmente relevante no dimensionamento das estruturas metálicas, atendendo à elevada condutibilidade térmica do aço, o que as torna especialmente suscetíveis à ação do incêndio. Existem diversos métodos proteção de estruturas ao fogo, sendo o seu objetivo primordial o de manter a temperatura dos elementos estruturais abaixo da temperatura crítica, a partir da qual ocorre o seu colapso ou deformação quando sujeitas à ação do fogo.

Este artigo efetua a síntese dos métodos de proteção disponíveis, fazendo uma análise comparativa das vantagens e desvantagens da utilização de cada um.

**PALAVRAS-CHAVE:** proteção estrutural; proteção contra incêndio; estrutura de aço; resistência ao fogo.

### 1. INTRODUÇÃO

O objetivo primordial da Segurança Contra Incêndios em Edifícios, e no qual se centra a regulamentação em vigor, é a salvaguarda da vida humana. São também objetivos a preservação de bens e património e, em função do tipo de edifício, a continuidade de negócio. Em qualquer um dos casos referidos acima, os elementos estruturais dos edifícios devem possuir uma resistência ao fogo que garanta as suas funções de suporte de cargas, de isolamento térmico e de estanquidade durante todas as fases de combate ao incêndio, incluindo o rescaldo [1]. Importa, portanto, assegurar o correto dimensionamento dos elementos estruturais de forma a garantir as características de resistência ao fogo adequadas, incluindo, quando necessário, a definição de soluções complementares de proteção ao fogo, devendo por isso ser conhecidos os diversos métodos existentes.

As estruturas em edifícios podem ser de vários tipos, sendo que em Portugal as mais comuns são as de betão armado, as de aço ou as mistas (aço-betão). Relativamente às estruturas de betão armado, uma eventual necessidade de melhoria das características de resistência ao fogo de um determinado elemento consiste, na generalidade dos casos, em considerar um incremento da espessura de recobrimento das armaduras em função

---

\*\*\*\*\* Autor correspondente – Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Rua Luís Reis Santos. Polo II da Universidade. 3030-788 Coimbra. PORTUGAL. e-mail: tiago.borrhalho@student.dec.uc.pt

do definido nas respectivas tabelas presentes nos Eurocódigos [2], uma vez que a condutibilidade térmica do betão é baixa; na proteção de estruturas de betão ao fogo podem ainda ser adicionadas fibras à sua composição, como as de polipropileno, de forma a prevenir e reduzir o fenómeno denominado de *spalling*, que consiste no destacamento de camadas de betão, quando este é exposto a uma situação de incêndio, devido às elevadas temperaturas.

Por outro lado, no caso das estruturas metálicas, apesar de estas apresentarem inúmeras vantagens ao nível do processo construtivo, nomeadamente por terem uma excelente relação resistência/peso, uma considerável ductilidade, uma maior sustentabilidade ambiental (tendo em conta que é possível a sua reciclagem), ou diversas outras vantagens relacionadas com a pré-fabricação dos seus elementos (o que se traduz geralmente em preços de construção mais competitivos), têm um mau desempenho à ação do fogo. Isto é, o aço tem uma condutibilidade térmica muito elevada, pelo que, permite a rápida transferência de calor através da condução do mesmo pelos seus elementos; tem também uma má reação à temperatura, uma vez que a sua capacidade de resistência diminui consideravelmente quando esta aumenta, pelo que é necessário um especial cuidado na seleção dos materiais a utilizar para melhorar as suas características de resistência ao fogo, razão pela qual é importante conhecer os métodos de proteção disponíveis, as suas características, bem como as vantagens e desvantagens de cada um, uma vez que a sua seleção dependerá, entre outros fatores, do tipo de edifício e do local de aplicação e do orçamento disponível para a obra.

## 2. MÉTODOS DE PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS AO FOGO

O objetivo primordial dos sistemas de proteção de estruturas metálicas ao fogo é manter a temperatura dos elementos estruturais abaixo da temperatura crítica, de forma a evitar o seu colapso ou deformação quando sujeitas à ação do fogo. Esta proteção pode ser feita diretamente sobre os elementos estruturais através da aplicação de materiais de baixa condutibilidade térmica, por meio de diversos métodos (Figura 1), dos quais se destacam:

- Os métodos de proteção que conferem uma proteção em torno do perfil metálico (*profile*), como as tintas intumescentes ou as argamassas projetadas;
- Os métodos de proteção que criam uma proteção em caixão (*box*), como os painéis rígidos e semirrígidos
- Os métodos de proteção por envolvimento total, que consistem numa proteção em materiais sólidos (*solid*) em torno dos elementos;

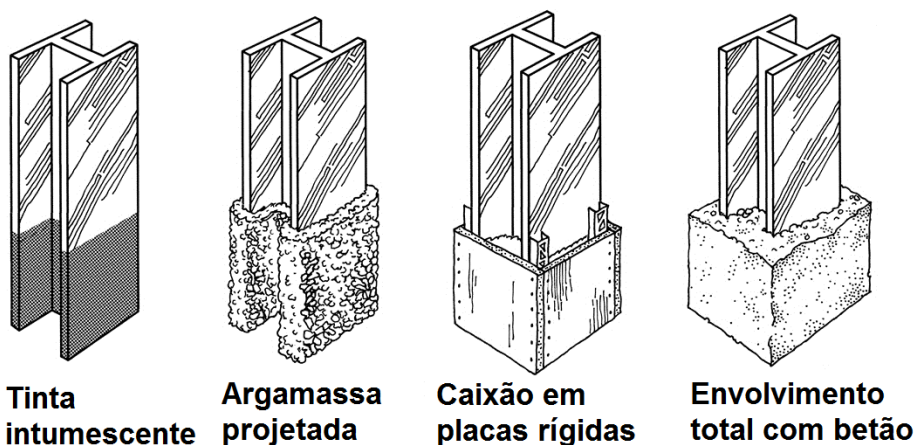


Figura 1: Representação esquemática dos diversos tipos de métodos de proteção de estruturas metálicas utilizando materiais de baixa condutibilidade térmica.

Os materiais referidos têm como principais características a baixa condutibilidade térmica, uma elevada resistência à ação do fogo e, em certos casos, uma forte resistência à exposição aos elementos (atmosféricos, químicos e

físicos). Para além das características referidas, existem ainda outros fatores a ter em conta, como a compatibilidade do custo da solução em função do tipo e importância do edifício, ou o impacto estético da sua aplicação.

Existem ainda os métodos de proteção por água, como os sistemas automáticos de extinção de incêndio (*sprinklers*) ou os sistemas de estrutura irrigada, potenciando um arrefecimento dos elementos estruturais.

## 2.1 Métodos de proteção em torno do perfil metálico

### 2.1.1 Tintas intumescentes

A aplicação deste método consiste na utilização de uma tinta sobre a superfície a proteger, que tem na sua composição química um conjunto de componentes que lhe conferem a capacidade de intumescer, isto é, de expandir de volume. O fenómeno de intumescência ocorre quando estes componentes são expostos à ação das altas temperaturas, formando uma espuma de densidade elevada e de constituição incombustível. As tintas intumescentes são constituídas por componentes ativos, que são inertes a baixas temperaturas, mas que sujeitos à ação do incêndio (Figura 2), iniciam uma reação química entre si que resulta na expansão dos seus elementos, formando uma camada carbonizada de materiais de baixa condutividade térmica, que isola termicamente o elemento metálico, reduzindo a presença do oxigénio e retardando a chegada do calor ao elemento metálico de suporte.

Os constituintes ativos das tintas intumescentes correspondem aos seguintes elementos:

- Um **catalisador** ou agente desidratante ácido que, sujeito a temperaturas elevadas, liberta o ácido que o constitui, e dá início à sequência de reações químicas deste processo;
- Um **agente carbonífero** que, quando sujeito à ação de um ácido, vê promovida a sua desidratação e posterior carbonização;
- Um **agente expansor** que, quando sujeito à ação do calor, liberta uma grande quantidade de gases não inflamáveis, e que origina uma espuma com aspeto carbonizado sobre o substrato;
- Um **elemento aglomerante**, que pode ser de base aquosa ou solvente, e que potencia a ligação dos componentes, atribuindo-lhes uma elevada adesão ao elemento metálico.

As restrições a nível Europeu, na emissão de compostos orgânicos voláteis (COV), potenciaram o desenvolvimento de tintas intumescentes mais ecológicas, pelo que atualmente a generalidade são baseadas em soluções aquosas, em oposição às de base solvente.



Figura 2: Processo de intumescência quando sujeita à ação térmica (adaptado de [4]).

O processo de intumescência (Figura 3) ocorre de forma sequencial, com o aumento da temperatura, e tem início com a decomposição do catalisador, normalmente o polifosfato de amónio ( $\text{NH}_4\text{PO}_3$ ), em amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) e ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), geralmente no intervalo entre os 150 °C e os 250 °C, dependendo das ligações do polifosfato de amónio. Com o subsequente aumento da temperatura, entre os 200 °C e os 300 °C, o ácido reage com o agente carbonífero, normalmente o pentaeritritol ( $\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_4$ ), ocorrendo a sua desidratação e posterior processo de carbonização. Em simultâneo com este processo, o agente expansor, geralmente a melamina ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$ ), inicia a sua decomposição formando gases que irão expandir em conjunto com o agente carbonífero, dando origem a uma espuma carbonosa. Para temperaturas superiores a 300 °C o agente expansor irá também atuar como dissipador de calor, uma vez que o seu processo de decomposição, e dos gases criados na reação, constituem processos endotérmicos, isto é, processos onde ocorre a absorção de energia, neste caso, na forma de calor. O processo

termina em torno dos 700 °C, com a oxidação da camada carbonosa, dando origem a uma camada cerâmica, porosa e de cor branca e de baixa condutividade térmica [4]. Esta camada origina um aumento de volume tipicamente entre 40 e 50 vezes [3], firmemente fixa ao elemento metálico e que irá funcionar como um isolante, garantindo a proteção do elemento metálico à ação térmica do fogo, ao impedir a transferência de calor para a estrutura durante um determinado período de tempo.

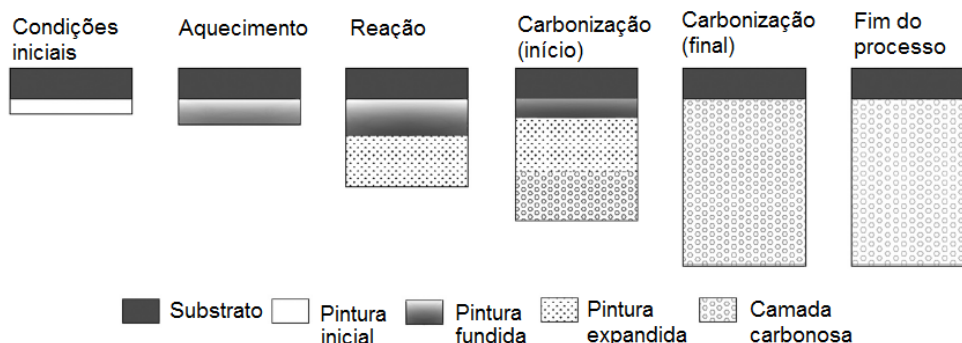


Figura 3: Representação esquemática do processo de intumescência (adaptado de [5]).

O Quadro 1 sintetiza as principais vantagens e desvantagens da utilização deste método.

Quadro 11: Vantagens e desvantagens da aplicação de tintas intumescentes

Vantagens	Desvantagens
<p><b>Estética</b> – Constitui uma camada fina aplicada sobre a estrutura metálica, possibilitando o efeito arquitetônico de manter a estrutura à vista e de aplicar o acabamento final na cor pretendida;</p>	<p><b>Custo</b> – Apresenta um custo superior quando comparada com os outros métodos;</p>
<p><b>Aplicação</b> – Aplicação simples mesmo em estruturas complexas; possibilidade de aplicação <i>off-site</i>; eventuais reparações podem ser aplicadas sobre a pintura anterior ou sobre estruturas já existentes, sem alterar a sua resistência estrutural;</p>	<p><b>Aplicação</b> – Aplicação húmida sendo necessário ter em contas as condições de humidade; aplicação por técnicos especializados, com posterior controlo de qualidade; tempo de secagem geralmente superior; necessidade de utilizar primário compatível;</p>
<p><b>Leveza</b> – Material leve, não contribuindo para o agravamento das cargas a considerar no dimensionamento de estruturas;</p>	<p><b>Manutenção</b> – Apresenta uma necessidade de manutenção periódica com inspeções à sua integridade;</p>
<p><b>Resistência</b> – Apresenta uma robustez relativa, semelhante aos sistemas de pintura tradicionais; permitindo a inclusão de componentes com uma forte componente de proteção anticorrosiva para instalações onde tal seja requerido;</p>	<p><b>Resistência ao fogo</b> – As soluções existentes no mercado, geralmente, apresentam uma resistência ao fogo máxima inferior às restantes soluções;</p>

A aplicação de tintas intumescentes pode ser feita através de métodos convencionais, como trincha ou rolo, ou através de métodos de pintura com pistola, em que a tinta é pulverizada a alta pressão sobre a superfície a proteger, permitindo uma maior eficiência da pintura. Há que ter ainda em atenção o nível de humidade relativa, que não deve ser superior a 70-80%, dependendo das recomendações de cada fabricante. Previamente a esta aplicação é também necessário aplicar um primário ignífugo, geralmente à base de resinas epóxi, para conferir proteção anticorrosiva ao perfil metálico. Como a tinta intumescente apresenta uma reduzida resistência aos elementos externos, sobre esta deve ser aplicada uma camada resistente, geralmente acrílica, que irá constituir o acabamento final. Este processo de aplicação pode ser efetuado no local ou previamente, durante a pré-fabricação dos elementos da estrutura metálica.

### 2.1.2 Argamassas projetadas

A aplicação de argamassas para proteção de estruturas metálicas recai quase sempre numa aplicação por projeção (Figura 4), apesar de também ser possível a sua aplicação manual. A argamassa projetada é composta por agregados e aglomerantes, misturados com água, formando um fluido, que é depois projetado, de forma pneumática, sobre o elemento a proteger. Esta solução garante um bom isolamento, uma baixa condutibilidade térmica, mantendo a sua integridade quando sujeitos a elevadas temperaturas, e uma elevada ductilidade, acompanhando eventuais movimentos da estrutura, sem que ocorram fissuras. São geralmente aplicadas em torno do elemento metálico, mas utilizando uma malha metálica, podem também providenciar uma aplicação tipo caixão. Consoante o tipo de aplicação, estes materiais podem ser de baixa densidade (para aplicações interiores, onde os elementos não estão expostos a ações físicas), de média densidade (para aplicações interiores, onde se verifica a necessidade de alguma resistência física e à humidade) ou de elevada densidade (para aplicações exteriores, onde é requerida uma elevada resistência a ações físicas, bem como à humidade).



Figura 4: Exemplo de aplicação de argamassa projetada em torno de um pilar metálico.

Estas argamassas são constituídas por materiais incombustíveis, com elevada capacidade de resistência à temperatura, sendo geralmente à base de fibras minerais ou à base de agregados minerais, conjugados com materiais ligantes, dos quais se destacam os indicados no Quadro 2.

Quadro 12: Principais materiais utilizados na composição das argamassas projetadas.

<b>Fibras minerais</b>	<b>Agregados minerais</b>	<b>Ligantes</b>
Lã de rocha	Vermiculite	Cimento
Lã de vidro	Perlite	Gesso

As fibras minerais são materiais produzidos da fusão de minerais a alta temperatura, sendo transformados em fibras por centrifugação. A lã de rocha é produzida a partir da rocha basáltica vulcânica e a lã de vidro a partir de uma composição de vidro. São ambos materiais isolantes, e com elevadas características de resistência ao fogo, com um ponto de fusão superior aos 1000 °C, e uma condutibilidade térmica reduzida.

A vermiculite é uma rocha mineral, da família das micas, formada essencialmente por silicatos hidratados de alumínio e magnésio, sendo constituída por um grande número de finas lâminas, intercaladas com partículas microscópicas de água. Quando exposta a elevadas temperaturas, geralmente no intervalo entre os 700 °C e os 1000 °C, as partículas microscópicas de água transformam-se em vapor e afastam as lâminas, criando a chamada vermiculite expandida. Estima-se que a vermiculite pura expanda até 30 ou 40 vezes o seu volume original, no entanto, a vermiculite comercializada na forma natural expande, em média, de 8 a 12 vezes [6]. A vermiculite em situação de incêndio liberta apenas vapor de água, pelo que é ideal para ser utilizada nas argamassas usadas na proteção de estruturas ao fogo. A perlite é um agregado mineral, também da família das micas, do tipo vidro vulcânico, e que tem igualmente na sua constituição um conteúdo relativamente alto de água. À semelhança da vermiculite, quando exposta a temperaturas elevadas, expande-se de 4 a 20 vezes o seu volume original [7].

O gesso é por excelência o ligante utilizado nas argamassas projetadas, devido à sua grande capacidade de absorver calor e de retardar a transmissão do fluxo térmico. É essencialmente composto por sulfato de cálcio di-hidratado, e contém cerca de 20% de água na sua constituição, no estado seco. Quando submetido à ação do fogo, a elevadas temperaturas, ocorre uma reação química, e este transforma-se em sulfato de cálcio anidro, absorvendo uma quantidade considerável de energia no processo. Adicionalmente, no processo de vaporização da água presente na sua constituição, ocorre igualmente uma absorção de calor.

O Quadro 3 sintetiza as principais vantagens e desvantagens da utilização deste método.

Quadro 13: Vantagens e desvantagens da aplicação de argamassas projetadas.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Custo</b> – Apresenta um custo inferior quando comparada com os outros métodos;	<b>Estética</b> – Aparência tosca e irregular, mais adequada a locais onde a sua aplicação não fique visível ou onde os requisitos estéticos sejam menores;
<b>Aplicação</b> – Aplicação simples mesmo em formas complexas; aplicado diretamente sobre os elementos, não requerendo uma preparação da superfície para além da limpeza de impurezas soltas;	<b>Aplicação</b> – Aplicação exclusivamente <i>on-site</i> , o que pode influenciar o planeamento da obra; aplicação que origina a produção de resíduos; dificuldade em manter espessuras uniformes;
<b>Durabilidade</b> – Não requer manutenção ao longo do tempo;	<b>Peso</b> – É necessário considerar o peso das argamassas no dimensionamento da estrutura;
<b>Resistência</b> – Apresenta uma elevada resistência térmica e acústica;	<b>Resistência</b> – Reduzida resistência física aos impactos; apenas indicado para locais com baixos níveis de corrosividade e de humidade;

## 2.2 Métodos de proteção em caixão

Esta solução consiste na aplicação de materiais de alta densidade (rígido) ou de média densidade (semirrígido) formando, geralmente, um caixão em torno do elemento metálico, podendo, em determinados casos, ser aplicada de forma a acompanhar o perfil do elemento metálico. O tipo de rigidez da solução está dependente do tipo de exposição ao impacto.

### 2.2.1 Materiais rígidos

As soluções rígidas são geralmente constituídas por placas de diversos materiais, como o silicato de cálcio ou o gesso, mas também como o betão ou o fibrocimento (sem amianto). Estes elementos são pré-fabricados, fixados *on-site* à estrutura por meio de pinos de aço soldados às estruturas e/ou fixados através de perfis de fixação (Figura 5).

Estas placas contêm na sua composição outros materiais, como as fibras minerais (lã de rocha e lã de vidro) ou os agregados minerais (vermiculite e perlite). No caso das fibras minerais, estas têm a função de manter a integridade da placa, mesmo quando esta é exposta à ação do incêndio. No conjunto esta solução funciona como um bom isolante térmico, mantendo baixa a temperatura do elemento metálico. A espessura e número de placas é definido em função das características do elemento a proteger, do tipo de solução e da resistência ao fogo pretendida. A utilização destas placas exige uma aplicação especializada, com particular importância nos cuidados a ter na ligação das placas entre si e ao perfil, de forma que seja obtida a proteção ao fogo desejada.

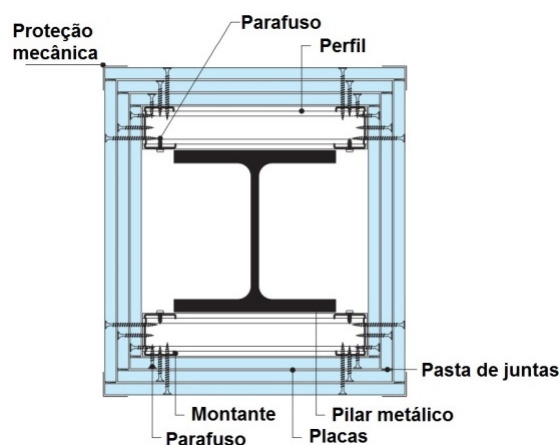


Figura 5: Representação esquemática da aplicação de placas de proteção em torno de um pilar metálico (adaptado de [8]).

O Quadro 4 sintetiza as principais vantagens e desvantagens da utilização de materiais rígidos.

Quadro 14: Vantagens e desvantagens da aplicação de placas rígidas.

Vantagens	Desvantagens
<b>Custo</b> – Apresenta geralmente um custo intermédio quando comparada com os outros métodos;	<b>Estética</b> – Oculta totalmente a estrutura, não sendo adequada a locais onde se pretenda tirar partido da função arquitetural da estrutura metálica;
<b>Aplicação</b> – A fixação é feita a seco, não produzindo resíduos e não sendo necessário nenhum tratamento prévio do aço;	<b>Aplicação</b> – Aplicação exclusivamente <i>on-site</i> , podendo ser consideravelmente demorada em estruturas complexas, o que pode influenciar consideravelmente o planeamento da obra;
<b>Acabamento</b> – As placas têm uma espessura pré-definida sendo garantida uma homogeneidade após a instalação; permitem ainda a aplicação de outros revestimentos;	<b>Peso</b> – Apresenta espessuras elevadas, sendo necessário considerar o peso das placas no dimensionamento da estrutura;

### 2.2.2 Materiais semirrígidos

A solução semirrígida consiste na utilização de mantas fibrosas, com elevadas características de resistência ao fogo, aplicadas em torno do perfil, e fixadas à estrutura através de pinos de aço previamente soldados. São geralmente constituídas por fibras cerâmicas ou fibras minerais, como a lã de rocha ou a lã de vidro. São soluções interessantes para proteção de elementos metálicos em edifícios em funcionamento, uma vez que não produzem resíduos, o que se traduz numa instalação limpa. Em termos de atuação, este método é semelhante aos anteriores, constituindo um revestimento com elevada resistência à ação da temperatura,

O Quadro 5 sintetiza as principais vantagens e desvantagens da utilização de mantas fibrosas.

Quadro 15: Vantagens e desvantagens da aplicação de mantas fibrosas.

Vantagens	Desvantagens
<b>Custo</b> – Apresenta um custo inferior quando comparada com os outros métodos;	<b>Estética</b> – Possui uma aparência pouco atraente, sendo mais adequada a locais onde a estrutura não seja visível;

<b>Instalação limpa</b> – Reduzida produção de resíduos;	<b>Aplicação</b> – Aplicação <i>on-site</i> , podendo ser consideravelmente demorada, o que pode influenciar consideravelmente o planeamento da obra;
<b>Leveza</b> – Material relativamente leve, não contribuindo significativamente para agravamento das cargas introduzidas na estrutura;	

### 2.3 Métodos de proteção por envolvimento total

Tal como o nome indica, estes métodos consistem no total envolvimento do elemento metálico, com um material que apresente boas características de resistência ao fogo, como por exemplo o betão, betão leve ou até mesmo a alvenaria. Com a introdução dos métodos de proteção mais leves, referidos anteriormente, este método caiu em desuso, ainda que seja por vezes aplicado em elementos estruturais em pisos onde não penalize o equilíbrio estrutural do edifício, como por exemplo, os pisos negativos. Nos métodos de envolvimento total por betão ou betão leve podem também ser integradas fibras na sua constituição, como as fibras de polipropileno, de forma a prevenir e reduzir os fenómenos de *spalling*.

O Quadro 6 sintetiza as principais vantagens e desvantagens da utilização deste método.

Quadro 16: Vantagens e desvantagens da aplicação da solução de envolvimento total.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Custo</b> – Apresenta geralmente um custo baixo, rivalizando, por vezes, com a solução com materiais projetados;	<b>Peso</b> – Apresenta um peso muito elevado, penalizando bastante o dimensionamento da estrutura;
<b>Resistência</b> – A sua utilização é geralmente adotada em locais onde seja relevante a sua elevada resistência ao impacto e abrasão;	<b>Aplicação</b> – Aplicação <i>on-site</i> , podendo ser consideravelmente demorada, o que pode influenciar consideravelmente o planeamento da obra;
<b>Acabamento</b> – Permitem a aplicação de outros revestimentos;	<b>Dimensão</b> – Elevadas espessuras;

### 2.4 Métodos de proteção por água

A utilização de água na proteção de estruturas ao fogo é também um método bastante eficaz. A proteção é geralmente efetuada através de sistemas automáticos de extinção de incêndios (*sprinklers*), podendo também ser feita através de sistemas de estruturas irrigadas.

#### 2.4.1 Sistemas automáticos de extinção de incêndios

Relativamente à utilização de sistemas automáticos de extinção de incêndios, o tipo de instalação mais frequente, quando se pretende utilizar este sistema para proteger a estrutura, é a de utilizar aspersores do tipo *upright*, estando estes direcionados às lajes e vigas, potenciando o arrefecimento permanente dos elementos estruturais pela presença da água. Este sistema, graças à sua rápida atuação perante uma situação de incêndio, logo na fase inicial do incêndio (*pré-flashover*), tem também como objetivo garantir a circunscrição do incêndio, e evitar que o mesmo ganhe proporções elevadas, permitindo a manutenção da integridade da estrutura e a eficaz extinção do incêndio aquando da chegada dos bombeiros.

O Quadro 7 sintetiza as principais vantagens e desvantagens da utilização deste método.

Quadro 17: Vantagens e desvantagens da utilização de um sistema automáticos de extinção.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
------------------	---------------------

<b>Custo</b> – O custo desta proteção pode ser nulo quando esta rede já é de instalação obrigatória;	<b>Custo</b> – Apresenta um custo muito elevado, nomeadamente quando não é de instalação obrigatória;
<b>Aplicação</b> – Pode evitar a aplicação de sistemas de proteção adicionais;	<b>Manutenção</b> – Requer manutenção especializada da rede e sistema associados;
<b>Atuação</b> – Atuação precoce, protegendo a estrutura e mantendo o incêndio circunscrito;	<b>Resistência</b> – Baixa resistência ao impacto, podendo causar estragos por água;

#### 2.4.2 Sistemas de estruturas irrigadas

No que diz respeito aos sistemas de estruturas irrigadas, é utilizado um sistema fechado de circulação de água no interior da estrutura metálica, que permite o arrefecimento da mesma em situação de incêndio. Este sistema é possível de utilizar em estruturas ocas, do tipo tubular, ligadas a um reservatório de água. A exposição a um incêndio, providencia o aumento da temperatura da água no interior da estrutura, e conseqüentemente o início da circulação natural da mesma devido ao aumento de temperatura. Este método é muito pouco utilizado a nível mundial, não existindo em Portugal nenhum edifício com este sistema em utilização.

O Quadro 8 sintetiza as principais vantagens e desvantagens da utilização deste método.

Quadro 18: Vantagens e desvantagens da utilização de sistema de estrutura irrigada.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Arrefecimento</b> – Desde que, em situação de incêndio exista uma fonte de adução ao reservatório, o arrefecimento da estrutura é constante;	<b>Custo</b> – Apresenta um custo muito elevado;
<b>Aplicação</b> – Evita a aplicação de sistemas de proteção adicionais;	<b>Manutenção</b> – Requer manutenção especializada da rede e sistema associados;

### 3. CONCLUSÕES

Os diferentes métodos de proteção de estruturas metálicas ao fogo descritos apresentam características que, de um modo geral, são equivalentes entre si. A seleção de uma determinada solução, em detrimento de outra, tem geralmente por base a necessidade de manutenção da estética original da estrutura inalterada, o menor custo e ou a rapidez de aplicação. No caso dos métodos de proteção por um sistema automático de extinção de incêndio por água verifica-se que a sua utilização resulta comumente de uma obrigatoriedade regulamentar.

Relativamente ao custo da proteção de estruturas ao fogo, constata-se que esta tem uma grande influência no custo global de uma obra, pelo que é de grande importância a correta seleção do método de proteção em função do local de aplicação e do tipo de edifício, de forma a que a utilização de estruturas em aço se mantenha competitiva em termos económicos.

De realçar ainda que, de forma a manter o equilíbrio económico da solução, quando é selecionada a espessura necessária para o material de proteção a aplicar, é importante ter conhecimento da temperatura crítica do elemento metálico a proteger. Sendo bastante vantajosa a determinação da temperatura crítica através de ferramentas de cálculo estrutural, em vez de adotadas os valores tabelados por defeito nos Eurocódigos, que são naturalmente conservadores, traduzindo-se em soluções menos económicas.

### REFERÊNCIAS

- [1] Portaria n. °1532/2008 de 29 de dezembro alterada pela Portaria 135/2020 de 2 de junho, "Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em edifícios (RT-SCIE)", República Portuguesa, 2008.

- [2] NP EN 1992-1-2, “Eurocódigo 2 - Projeto de estruturas de betão. Parte 1-2: Regras gerais. Verificação da resistência ao fogo”, 2010.
- [3] Mesquita, L.M.R.; Piloto, P.A.G.; Vaz, M.A.P.; Ramos, F.; Vila Real - *Comportamento de vigas em aço protegidas com tinta intumescente*, Congresso de Construção Metálica e Mista, Lisboa, 2005.
- [4] Cunha, S., Mesquita, L. & Piloto, P. – *Formulação e comportamento de tintas intumescentes*, 4<sup>as</sup> Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, 2014.
- [5] Lucherini, A., Maluk, C. - *Intumescent coatings used for the fire-safe design of steel structures: A review*, Journal of Constructional Steel Research, School of Civil Engineering, The University of Queensland, Australia 2019.
- [6] Ugarte, J. F. de O., Sampaio, J. A. & França, S. C. A. – *Vermiculita*, In da Luz, A. B. & Lins, F. A. F. (Eds) – *Rochas e Minerais Industriais: Usos e especificações – 2ª Edição*, CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 2008, p. 865-887.
- [7] Filho, S. H. da S., Vinaches, P. & Pergher, S. B. C. – *Caracterização estrutural da perlita expandida*, Revista PERSPECTIVA v. 41, n.155, Erechim, 2017, p. 81-87.
- [8] *Hoja técnica K25D.es - Knauf Protección al fuego de vigas y pilares metálicos*, 2020;.

## SISTEMAS DE EXTINÇÃO DE INCÊNDIOS POR AGENTE EXTINTOR DIFERENTE DA ÁGUA



**Marco P. M. Filipe \***  
Mestrando em  
Segurança aos  
Incêndios Urbanos  
UC - Coimbra



**João Paulo C.  
Rodrigues**  
Professor  
UC - Coimbra

### SUMÁRIO

O fogo é uma reação química de oxidação-redução fortemente exotérmica. Quando o fogo ocorre de forma descontrolada, denomina-se de incêndio. Esta ocorrência pode tornar-se muito perigosa para os seres humanos, para o património e para o ambiente. Torna-se, portanto, primordial evitar que este tipo de ocorrência possa acontecer, recorrendo a mecanismos e sistemas de extinção que nos possam proteger em caso de surgimento de um incêndio. A água, pela sua maior disponibilidade e menor custo, e também pela sua facilidade de armazenamento, transporte e aplicação, é normalmente o agente extintor de eleição. No entanto, a água não pode ser utilizada em todas as classes de fogo e há situações onde o processo de extinção por este agente, pode originar maiores prejuízos do que o próprio incêndio. Em determinadas situações há a necessidade de se recorrer a outros agentes extintores, como por exemplo os gasosos.

**PALAVRAS-CHAVE:** incêndio; extinção; gases; químicos; inertes.

### 1. INTRODUÇÃO

A combustão é uma reação química de oxidação-redução, exotérmica, que ocorre entre um material combustível e um material comburente, da qual resultam diversos produtos, entre os quais calor, substâncias voláteis e não voláteis [1]. Para que exista combustão, tem de haver a presença em simultâneo de três fatores: do combustível, do comburente e da energia de ativação, que será a energia que fará desencadear a reação. No entanto, desencadeada a reação, para que esta se

---

\* Autor correspondente – Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Rua Luis Reis Santos. Polo II da Universidade. 3030-788 Coimbra. PORTUGAL. e-mail: mpmfilipe@student.dec.uc.pt

mantenha no tempo, terá de se autossustentar, ou seja, tem de se verificar aquilo que designamos por, uma reação em cadeia, como mostra a Figura 1.



Figura 73: Tetraedro do fogo (adaptado de [1])

O combustível é uma substância que pode arder e pode encontrar-se no estado sólido, líquido ou gasoso. O comburente, geralmente o oxigénio, existe no ar que respiramos com uma concentração percentual aproximada de 21%, é o elemento que vai alimentar a reação. Quando se verificam valores de concentração de oxigénio abaixo de 14%, deixa de ser possível a combustão. A energia de ativação é a energia mínima necessária para se iniciar a reação. Como a reação é exotérmica, a energia produzida pela combustão das moléculas, serve de energia de ativação de moléculas vizinhas. A reação em cadeia apenas é possível no meio gasoso [2].

Os fogos, segundo a norma EN 2, são classificados quanto à natureza do combustível e, dividem-se em cinco classes mostradas no Quadro 1 [1].

Quadro 19: Classes de fogo

Classe de fogo	Combustão de materiais
A	Sólidos, geralmente de natureza orgânica, a qual se dá normalmente com a formação de brasas
B	Líquidos ou de sólidos liquidificáveis
C	Gases
D	Metais
F	Produtos para confeccionar alimentos em equipamentos de cozinha (óleos e gorduras vegetais ou animais)

Um incêndio pode ser extinto através da eliminação ou redução de um ou vários dos componentes do tetraedro do fogo, desta forma os mecanismos de extinção são [3]:

- Arrefecimento pela redução da energia de ativação, diminuindo a temperatura do combustível e envolvente;
- Carência por limitação do combustível;
- Carência por limitação do comburente;
- Inibição ou catálise negativa pela interrupção da reação em cadeia.

A água e o dióxido de carbono são agentes extintores normalmente associados ao mecanismo por arrefecimento uma vez que, pelo seu estado físico, possuem capacidade de absorver grandes quantidades de calor. No entanto a água é o mais utilizado pela sua disponibilidade, menor custo, facilidade de armazenamento, transporte e aplicação. Não é aconselhável a sua utilização em fogos de equipamentos elétricos ou fogos da classe D. Depois temos as espumas, que podem ser químicas, no entanto, atualmente as que mais se utilizam são as físicas e que variam de acordo com o tipo de espumífero e o tipo de expansão. Elas estão associadas ao mecanismo de carência por limitação do comburente.

Existem também os pós químicos, sendo um agente extintor bastante generalizado, que dependem da classe de fogo, podendo ser do tipo ABC, BC ou D. Possuem na sua composição vários elementos, como por exemplo o fosfato de monoamônia, o bicarbonato de sódio, o cloreto de sódio entre outros. Eles atuam pela interrupção da reação em cadeia.

Os agentes químicos húmidos, consistem numa solução de água e acetato de potássio, sendo particularmente indicados para a extinção de fogos da classe F, uma vez que transformam os óleos e as gorduras da confeção de alimentos numa substância saponácea. Atuam através do mecanismo de carência por limitação do comburente [4].

E por último os agentes gasosos, que se dividem em gases sintéticos ou químicos e gases inertes, sendo estas duas famílias de gases também apelidadas de agentes limpos, e ainda o dióxido de carbono, que não é considerado um agente limpo apresentando um quadro normativo totalmente distinto. Todos estes gases apresentam diferentes mecanismos de extinção. Os agentes gasosos têm aplicação em locais onde a utilização de agentes à base de água não são os mais indicados ou podem provocar danos de ordem variada [3]. Estes agentes estão normalmente associados a sistemas de inundação, que se ramifica em inundação total ou aplicação local. O sistema de inundação total abrange todo o volume de um determinado compartimento, enquanto no de aplicação local, a sua utilização é centralizada num determinado equipamento ou zona (Figura 2).

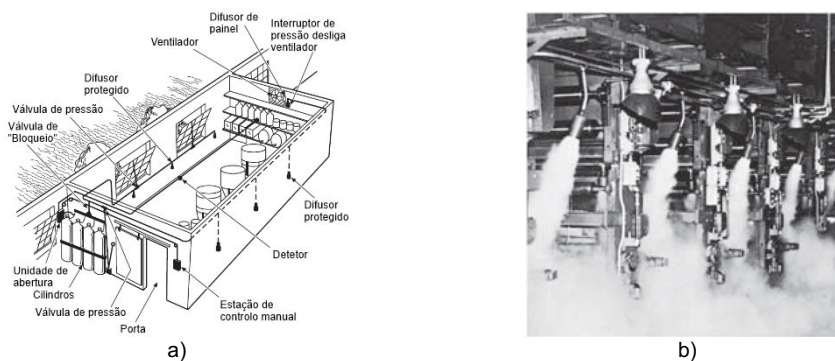


Figura 74: Sistema de a) inundação total ou b) aplicação local (adaptado de [5])

Entende-se por agentes limpos, os agentes extintores que vaporizam rapidamente e que não deixam resíduo após a descarga. Eles não são condutores de eletricidade e normalmente permitem a presença humana. É por esta razão que o dióxido de carbono não é considerado um agente limpo, uma vez as concentrações necessárias para os sistemas de inundação total, não são compatíveis com a presença humana.

Os gases sintéticos atuam através de dois mecanismos, nomeadamente, por arrefecimento, reduzindo a energia de ativação e diminuindo por isso a temperatura do combustível e envolvente, e também pela substituição do átomo de oxigénio por átomos que provocam uma reação endotérmica na reação com os radicais livres que se formam durante uma combustão.

Por sua vez, os gases inertes, baseiam o seu funcionamento na redução do teor de oxigénio de um compartimento, até valores em que a combustão não se sustenta. Estes gases estão normalmente presentes na atmosfera, como por exemplo o argon, o azoto e misturas destes, podendo ainda ser acrescentado o dióxido de carbono à mistura.

## 2. AGENTES EXTINTORES DIFERENTES DA ÁGUA

Ao longo da história, um dos agentes mais utilizados foi o Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) [3]. Porém, e como já referimos, o facto da sua utilização necessitar de concentrações extremamente perigosas não compatíveis com a presença de pessoas no momento da descarga, fez com que se generalizasse a utilização do Halon 1301, que se apresentava mais seguro relativamente à proteção contra incêndio.

No entanto, os halons foram identificados como sendo uma substância destruidora da camada do ozono, tendo sido incluídos no Protocolo de Montreal<sup>+++++</sup>, do qual resultou a interdição da sua produção e utilização.

A produção de Halon 1301, 1211 e 2402 em países desenvolvidos, cessou a 31 de dezembro de 1993 [2]. Relativamente à Comunidade Europeia, a sua remoção fica estabelecida no Regulamento (CE) n.º 2037/2000, de 29 de junho, que veio proibir, em 31 de dezembro de 2002, a utilização de equipamentos de extinção de fogo que recorram a estas substâncias, contudo foram estabelecidas algumas exceções em utilizações críticas<sup>§§§§§§§§§§</sup> [6]. Este regulamento foi posteriormente transposto para a legislação nacional através do Decreto-Lei n.º 119/2002, de 20 de abril.

Com vista a substituir este agente extintor, a indústria desenvolveu uma série de produtos alternativos. A UNEP - *United Nations Environment Programme* elaborou, em 1999, um documento [7], para auxiliar os países consumidores a procurarem produtos alternativos. As alternativas passariam por gases inertes (exceto o CO<sub>2</sub>), gases halocarbonados, água nebulizada, geradores de gases inertes, aerossóis de finas partículas e agentes “streaming”.

Então, o Protocolo de Montreal determinou que o consumo de HCFCs deverá ser congelado em 2015 e totalmente eliminado em 2040 nos países em desenvolvimento. Atualmente, o mais comum é a substituição de HCFCs por HFCs que não afetam a camada de ozono, no entanto são, por outro lado, gases com efeito de estufa. Os HFCs contribuem para o aquecimento global, embora em níveis reduzidos quando comparados com os HCFCs.

Entretanto o Protocolo de Quioto<sup>\*\*\*\*\*</sup>, estabeleceu algumas condições relativas à utilização de HFCs em sistemas de proteção contra incêndio, nomeadamente, evitar a fuga desses gases. Por este motivo, alguns países já procederam também à eliminação dos HFCs. Referir apenas que o dióxido de carbono é o gás com maior contribuição para o aquecimento global, com cerca de 82% na Europa [8]. Com base no Protocolo de Quioto, e inclusivamente estabelecendo algumas medidas mais restritivas, a Comunidade Europeia publicou o Regulamento (CE) n.º 842/2006, de 17 de maio, onde estavam listados no seu Anexo I alguns destes gases fluorados com efeito de estufa. Em abril de 2014 este Regulamento foi revogado pela publicação do Regulamento (EU) n.º 517/2014 [9], sendo que relativamente aos sistemas de proteção contra incêndio a medida com maior impacto foi a proibição de novas instalações contendo HFC-23 a partir de 1 de janeiro de 2016.

De uma forma geral, este Regulamento tem como objetivo continuar a redução das emissões de gases fluorados com efeito de estufa, sendo que a meta para o ano 2030, é que a colocação no mercado de todos estes gases seja limitada a 21 % da média consumida entre 2009 e 2012 [3].

## 3. AGENTES LIMPOS ATUAIS

---

+++++ O Protocolo de Montreal é composto por cinco acordos firmados em Montreal, Canadá, em 16 de setembro de 1987, e ficou aberto para adesão dos países interessados. Foi ratificado em 19 de março de 1990 e ao longo dos anos passou por várias revisões.

§§§§§§§§§§ Algumas proteções específicas no campo da aviação civil, transportes de material rolante e diversas aplicações nos setores militar, policial e bombeiros.

\*\*\*\*\* O Protocolo de Quioto foi um acordo internacional entre os países integrantes da Organização das Nações Unidas (ONU), firmado com o objetivo de se reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa e o consequente aquecimento global, foi redigido e assinado em Quioto (Japão), em 1997.

Nem sempre se podem utilizar sistemas de extinção baseados em água, para a proteção de pessoas, de bens e do ambiente, pois quando estão em causa equipamentos ou património com grande valor, quer económico quer histórico, a água pode causar maiores danos do que o próprio incêndio. Nestas situações sistemas com o recurso a agentes gasosos limpos passam a ser uma alternativa melhor do que aqueles que usam água ou pós químicos.

Algumas das suas vantagens relativamente à água ou pós químicos, estão relacionados com o facto de estes agentes não serem condutores de electricidade, pelo que não danificam equipamentos eletrónicos, podendo os mesmos encontrar-se sob tensão. Quando aplicados de acordo com as normas eles são seguros para o ser humano.

Por atuarem com rapidez, reduzem a produção de fumos e os estragos provocados pela fuligem. Eles também atuam numa perspetiva a três dimensões, extinguindo os fogos que por vezes a água não consegue.

Pode considerar-se que os agentes extintores limpos são eficientes para um grande número de riscos, e a sua permeabilidade e dispensabilidade permitem chegar facilmente a fogos ocultos. Outro facto importante é que estes agentes não deixam resíduos após a sua aplicação.

Quadro 20: Agentes limpos atuais (adaptado de [2] e [10])

Designação (Nome comercial)	Nome químico	Tempo de vida na atmosfera (Anos)	++++++ GWP	##### ODP	\$\$\$\$\$\$\$\$ NOAEL	***** LOAEL	Taxa de
			(CO <sub>2</sub> = 1)	(CFC-11 = 1)	(%)	(%)	concentração do agente projeto (%)
<i>Gases sintéticos, Hidrofluorcarbonos, HFCs</i>							
HFC-227ea (FM-200 e FE-227)	Heptafluoropropano	34,2	3 220	0	9	10,5	5,2 a 8,7
HFC-125 (FE-25)	Pentafluoroetano	29	3 500	0	7,5	10	6,7 a 11,3
HFC-236fa (FE-36)	Hexafluoropropano	240	9 810	0	10	15	6,3 a 8,2
<i>Gases sintéticos, Fluor Cetona</i>							
FK-5-1-12 (Novec 1230)	Dodecafluoro-2-metilpentano-3-ona	0,014	1	0	10	> 10	3,5 a 5,9
<i>Gases inertes</i>							
IG-01 (Argotec)	Árgon	Permanente	0	0	43	52	42 a 54,6
IG-100 (Azoto)	Azoto	Permanente	0	0	43	52	31 a 40,3
IG-541 (Inergen)	Azoto (52%) + Árgon (42%) + CO <sub>2</sub> (8%)	Permanente	0,08	0	43	52	28,5 a 40,6
IG-55 (Proinerte e Argonite)	Árgon (50%) + Azoto (50%)	Permanente	0	0	43	52	30,1 a 39,1

++++++ GWP – potencial de aquecimento global.

##### ODP – potencial de depleção do ozono.

\$\$\$\$\$\$\$\$ NOAEL – concentração máxima de agente à qual não se observa resposta cardiotoxicidade.

\*\*\*\*\* LOAEL – concentração mínima de agente à qual se observa resposta cardiotoxicidade.

++++++ Depende da classe de fogo a considerar.

##### De acordo com estudos médicos, para suporte de vida humana devemos garantir uma taxa de oxigénio no ambiente da sala, após a descarga, de no mínimo

10%. Adota-se normalmente uma concentração de oxigénio a rondar os 12%.

Como referido anteriormente, os agentes extintores limpos, agrupam-se em duas famílias de gases, que são os sintéticos ou químicos e os inertes. Tendo os halons uma forte capacidade destruidora da camada de ozono, ODP (*Ozone Depletion Potential*), tal não se verifica com os gases anteriormente referenciados que têm ODP nulo. Contudo, os gases sintéticos têm um potencial de aquecimento global, GWP (*Global Warming Potencial*), que contraria o espírito consagrado pelo Protocolo de Quioto.

No Quadro 2 podemos ver em resumo, o conjunto de gases sintéticos e inertes que são permitidos atualmente. Pelo exposto, apesar de alguns ainda serem permitidos, a tendência será para o desaparecimento dos HFCs.

Os agentes limpos atuais possuem um vasto leque de aplicações, nomeadamente, salas de componentes elétricos e eletrónicos, salas de bastidores, servidores, centrais telefónicas, bandotecas e robôs. Podem também ser aplicados em museus e arquivos históricos, cofres, galerias de cabos, líquidos inflamáveis e em áreas normalmente ocupadas.

Importa referir também que, a nível normativo são definidas exigências em termos dos requisitos mínimos de segurança para estes sistemas, tendo em consideração os valores da concentração de agente relativamente aos valores de NOAEL e LOAEL, que deverão ser contemplados na conceção dos sistemas, no sentido de evitar uma exposição desnecessária ao agente pelos ocupantes do espaço, como mostra o Quadro 3.

Quadro 21: Prescrições mínimas de segurança (adaptado de [11])

Concentração máxima de agente	Dispositivo de atraso	Comutador automático/manual	Dispositivo de bloqueio
Até ao NOAEL, inclusive	Requerido	Não requerido	Não requerido
Acima do NOAEL e até ao LOAEL	Requerido	Requerido	Não requerido
LOAEL e acima	Requerido	Requerido	Requerido

### 3.1 Gases sintéticos

Os sistemas baseados em agentes sintéticos são de ação rápida e fornecem uma solução segura para a extinção de incêndios, a partir de uma quantidade relativamente pequena de agente. Podem proteger-se áreas extensas através de cilindros colocados estrategicamente de forma modular ao longo da área protegida ou apenas fora dela. Estes agentes atuam principalmente por inibição química a nível molecular, extinguindo assim o incêndio [2].

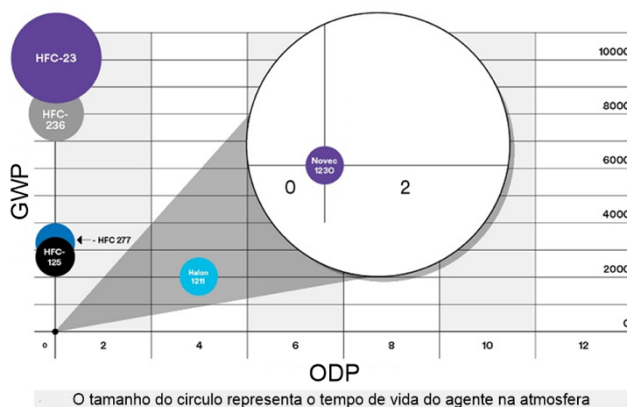


Figura 75: Comparação da pegada ambiental dos vários gases (adaptado de [12])

Como pudemos constatar no Quadro 2, os gases sintéticos possuem um potencial de destruição da camada do ozono de zero. No entanto não se verifica a mesma coisa relativamente ao potencial de aquecimento global, como mostra a Figura 3. Eles partilham ainda algumas características comuns aos halons, nomeadamente em termos de área e espaço ocupados pelos cilindros e restantes equipamentos, podemos ver isso mesmo, em termos comparativos, na Figura 4.

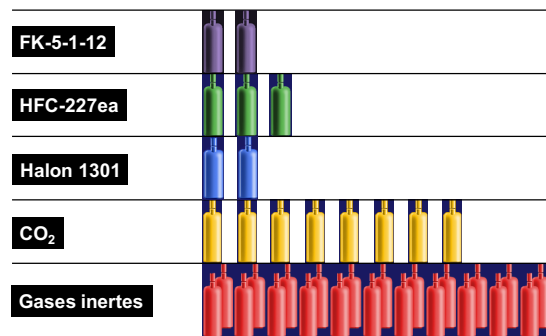


Figura 76: Comparação dos requisitos de espaço de armazenamento

O agente extintor HFC-227ea está apto para a proteção da maioria dos riscos onde anteriormente se utilizava o Halon 1301. É um gás apto para os fogos das classes A e B. O agente pressuriza-se com azoto seco a 24 bar e armazena-se em cilindros de aço equipados com válvulas certificadas. É uma boa solução para suprimir rapidamente o incêndio, sem danos, sem utilização de grandes espaços e com total visibilidade. A descarga deste agente dá-se em dez segundos ou menos, extinguindo o fogo de forma rápida e eficaz [2].

O HFC-125 é fisicamente similar ao Halon 1301, por isso é uma excelente e eficaz alternativa, com a vantagem de não prejudicar a camada de ozono e ter um potencial de efeito de estufa relativamente baixo, apresentando também um tempo de vida atmosférica relativamente curto. Atua por inundação total e pode ser utilizado em áreas ocupadas, uma vez que apresenta valores de toxicidade aceitáveis [2]. É um gás comprimido incolor, inodoro e liquidificado. É armazenado no estado líquido e é descarregado no local onde se verifica o perigo no estado de vapor incolor, não obscurecendo a visão nem deixando resíduos.

O HFC-236fa é um agente extintor que apareceu para tentar substituir o Halon 1211, que era usado em extintores portáteis. No entanto, para além deste tipo de aplicação, é também usado em sistemas fixos de extinção de incêndio e por inundação total [2]. A sua baixa toxicidade e alta eficiência tomam-no atrativo para espaços normalmente ocupados.

O FK-5-1-12 é um agente sintético que foi desenvolvido pela 3M e é um Fluor Cetona, não sendo por isso abrangido pelos regulamentos referidos anteriormente. O mecanismo de extinção é muito parecido com o dos HFCs, sendo que neste caso apenas se alcança a extinção por meios físicos devido a ser gerada uma mistura de ar/agente extintor com uma capacidade calorífica muito superior que o ar por si só [13]. A concentração de projeto varia de 3,5% a 5,3% de acordo com a classe de fogo, e revela-se um agente extremamente seguro para o ser humano uma vez que apenas provoca reações cardiotoxicas a partir dos 10%. É armazenado na fase líquida, a aproximadamente a 25 bar ou a 42 bar e tem uma descarga de 10 segundos. Requer pouco espaço de armazenamento.

Mais sucintamente, podemos dizer que o FK-5-1-12 será considerado um agente extintor de 3.<sup>a</sup> geração que agrega as vantagens dos agentes extintores sintéticos com as dos agentes extintores inertes, isto é, alia a pouca quantidade de agente extintor à característica única de não ter qualquer impacto ambiental dos agentes inertes. O seu tempo de descarga é de 10 segundos e necessita de uma pressão de armazenamento baixa, aliás, como os agentes sintéticos. O FK-5-1-12 permanece na atmosfera apenas 5 dias e, por não ser um fluorado, não está sujeito à regulamentação referida anteriormente, que entre outras coisas impõe o controlo de fugas periódico por entidades e técnicos certificados para o efeito.

### 3.2 Gases inertes

Os gases inertes podem ser utilizados como agentes extintores possuindo como principal mecanismo de extinção a carência por limitação do comburentes. Estes sistemas são dimensionados para concentrações de cálculo entre 30% e os 55 % de volume para reduzir as concentrações de oxigénio ambiente a valores inferiores a 14%, não podendo desta forma apoiar o processo de combustão, pelo que, a exposição humana a estes agentes deve ser limitada. Uma vez nos encontramos mais perto dos níveis mínimos de oxigénio, deve haver algum cuidado com a sua utilização em áreas com ocupação, devendo sempre que possível, ser concebido para que a percentagem de oxigénio residual após a descarga

seja superior a 12%. Eles não são condutores de eletricidade e são limpos, contudo, os seus cilindros requerem maiores áreas de armazenamento do que os gases sintéticos.

Estes gases não são liquefeitos e são armazenados a alta pressão em, o que poderá ter implicações relativamente ao espaço ocupado e ao peso do conjunto. O sistema em causa tem de apresentar robustez suficiente dado as pressões envolvidas. Os tempos de descarga podem chegar aos dois minutos, podendo limitar a sua aplicação em situações que prevejam um rápido desenvolvimento do incêndio. Estes gases não estão sujeitos à decomposição térmica e não produzem produtos degradantes para a atmosfera terrestre [2]. Estes sistemas são apenas aplicados por inundação total ou para extinção de equipamentos fechados.

O IG-01 é um gás inerte constituído por 100% de árgon. Por ser completamente natural, é valorizado como um agente extintor amigo do ambiente. É incolor, inodoro, insípido e quimicamente neutro. A extinção por este gás, é conseguida através da redução da concentração de oxigénio, no entanto esta redução deve ser para níveis adequados à ocupação do espaço por pessoas. Desta forma ele permite uma evacuação segura em termos de nível de oxigénio, visibilidade e ausência de químicos na descarga.

O IG-100 é um gás inerte constituído por 100% de azoto. É incolor e inodoro e é armazenado em cilindros de alta pressão na forma de gás comprimido, desta forma, o espaço necessário para o armazenamento de cilindros depende da pressão e da capacidade. Os cilindros poderão funcionar a 200 ou a 300 bar e a sua capacidade será de 80 ou de 140 litros.

O IG-541 é uma mistura de gases inertes, contendo 52% de azoto, 40% de árgon e 8% de CO<sub>2</sub>. É um gás inerte, incolor e inodoro. Não é corrosivo e pode ser usado a temperaturas normais em várias ligas metálicas e em plásticos. O IG-541 foi especialmente desenvolvido para fornecer proteção contra incêndios, como substituto do Halon 1301. Após a extinção, estes gases são devolvidos inalterados para a atmosfera, sem contaminar o ambiente.

O IG-55 é também uma mistura de gases inertes, contendo 50% de árgon e 50% de azoto. Pode ser utilizado por inundação total e pode ser utilizado na maioria dos produtos inflamáveis, assim como em locais que requeiram um agente não condutor de eletricidade. Quando é efetuada a descarga não obscurece a visão e não deixa resíduos.

#### 4. DIÓXIDO DE CARBONO – CO<sub>2</sub>

Os sistemas com CO<sub>2</sub> têm sido usados desde o início do século XX. O final dos anos 20 veio dar início ao trabalho sobre a primeira norma NFPA<sup>§§§§§§§§§§</sup>, descrevendo as aplicações destes sistemas. Desde este período até ao final dos anos 60, o CO<sub>2</sub> é o único agente extintor que foi usado comercialmente, independentemente das aplicações. Entre os anos 70 e 80, recorria-se aos sistemas à base de CO<sub>2</sub> quando os de Halon 1301 eram claramente inadequados ou onde os revendedores do Halon 1301 não conseguiam chegar comercialmente. O ano de 1994 foi de viragem para esta realidade, devido ao facto de se ter banido a produção e importação de produtos à base de halons. Mesmo com a introdução de novas alternativas, sucedeu-se um aumento de sistemas de extinção por CO<sub>2</sub> [2].

Há duas configurações para o armazenamento do agente em sistemas de CO<sub>2</sub>: alta e baixa pressão. O tipo de armazenamento do conteúdo não é um suporte para a relativa segurança do agente, mas sim para a economia do sistema. Para grandes áreas é preferível a utilização de sistemas de baixa pressão, devido ao seu baixo custo relativamente ao de alta pressão.

Normalmente os dois métodos que se aplicam aos sistemas de extinção pelo agente CO<sub>2</sub> são o de inundação total e o de aplicação local. A eficiência dos sistemas por inundação total, é em grande parte assegurada pela estanquidade do local, pelo que devem ser colmatadas ao máximo possíveis fugas, assim como devem ser fechadas portas e outros vãos, garantindo-se a saída prévia de eventuais ocupantes, através de um pré-alarme de extinção e a adequada temporização de descarga. Na aplicação local, o agente é aplicado diretamente no fogo ou na região que o rodeia. A eficácia da extinção

---

§§§§§§§§§§ National Fire Protection Association – Organização de proteção contra incêndios dos Estados Unidos da América.

por CO<sub>2</sub> é, em primeiro lugar confirmada por provocar uma redução de oxigénio no ar para que o incêndio não se consiga autossustentar e, em segundo lugar pelo efeito de arrefecimento [2].

O CO<sub>2</sub> é um gás inodoro, incolor, não corrosivo, não condutor de eletricidade, que não deixa resíduos e que penetra em todos os espaços do local de risco. Este gás possui densidade relativa superior à do ar em 50%, sendo liquefeito por compressão. Por descompressão brusca, arrefece e pode passar ao estado sólido.

## 5. PÓ QUÍMICO SECO

O pó químico seco é um agente extintor muito generalizado, especialmente em extintores portáteis e móveis, cujo efeito é o da inibição (corte da reação em cadeia da combustão); há três tipos de pó químico: BC, ABC e D, correspondentes às classes de fogo em que são eficazes. Para certos locais poderá utilizar-se o pó químico sob a forma de sistema fixo, de comando manual ou automático, como é mostrado na Figura 5.

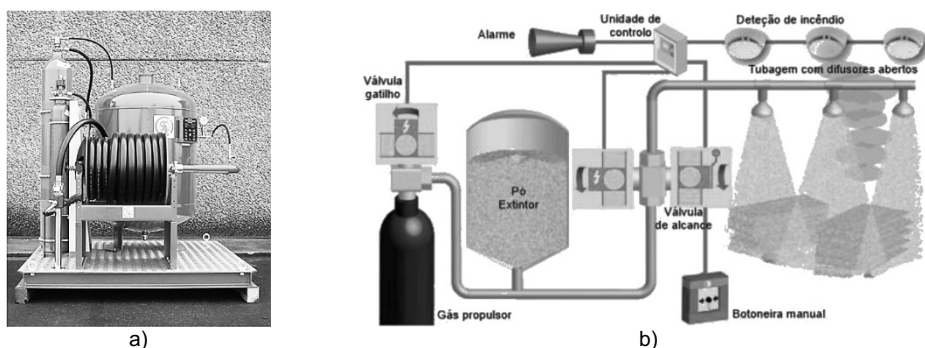


Figura 77: Sistemas fixos de a) comando manual e b) comando automático (adaptado de [14])

Este sistema é raramente usado, já que o pó é muito difícil de remover e altamente corrosivo, além disso, não pode ser usado em equipamento elétricos. Nos sistemas fixos é necessário ter em consideração a limitação da distância do recipiente de armazenamento, devido à pressão necessária e às perdas de carga relativas ao escoamento. Estes sistemas podem ser pressurizados diretamente no recipiente de armazenamento ou por cilindro com gás, ou seja, por pressão injetada diretamente no recipiente, podendo ser usado como agente propulsor o azoto.

## 6. AEROSSÓIS DE FINAS PARTÍCULAS

A NFPA já tem disponível a norma NFPA 2010, contém os requisitos para projeto, instalação, operação, teste e manutenção de sistemas de extinção de incêndio por aerossóis condensados e dispersos, para aplicações de inundação total. Ela também cobre os requisitos de desempenho e métodos de teste para estes sistemas e os seus componentes associados. Em termos europeus, também existe uma norma para estes sistemas, nomeadamente, a EN 15276 nas suas partes 1 e 2. Na parte 1, são especificados os requisitos e métodos de ensaio para sistemas de extinção por aerossóis condensados para aplicações de inundação total e na parte 2, os requisitos e métodos para o projeto, instalação e manutenção destes sistemas. No entanto este documento ainda não se encontra generalizado à União Europeia, uma vez que em alguns países existem regulamentos nacionais específicos que se sobrepõem a esta norma.

Por serem documentos relativamente recentes, e por não terem ainda chegado às várias entidades do setor, no sentido de serem estabelecidas regras, permite que se cometam inúmeros erros quer ao nível do projeto, quer ao nível da instalação. A título de curiosidade, existem situações de geradores de aerossóis instalados para proteção de cozinhas como aplicação local quando esta aplicação não foi ainda certificada por entidades acreditadas. A aprovação por entidades acreditadas torna-se um requisito essencial, devendo ser usados de acordo com as concentrações de extinção que por elas sejam definidas. Os testes de concentrações incidem sobre o conjunto do gerador e não sobre a carga (dependendo da configuração do gerador existem perdas de partículas geradas). Eles atuam basicamente sobre a reação em cadeia, trata-se sobretudo

de uma extinção química, no entanto, apresentam também como mecanismos secundários de extinção a absorção de parte da energia da combustão e de diluição do oxigênio.

#### 4. CONCLUSÕES

A água, pelo facto de ser normalmente o agente de extinção de eleição, seja pela sua maior disponibilidade ou pelo seu menor custo, não pode ser utilizada para todas as classes de fogo e também há situações em que a sua utilização poderia causar muitos danos. Em determinadas situações há a necessidade de se recorrer a outros agentes extintores. Uma das alternativas são os agentes gasosos, que se dividem em gases sintéticos e gases inertes, sendo estas duas famílias de gases também apelidadas de agentes limpos. Temos ainda como alternativa o dióxido de carbono, que não é considerado um agente limpo por apresentar um quadro normativo totalmente distinto.

Os agentes gasosos têm associados algumas disposições regulamentares, relativas a questões ambientais e têm também requisitos relativos aos seus projetos para locais ocupados por pessoas.

Existem também os pós químicos secos, sendo um agente extintor bastante generalizado, contudo apresenta algumas desvantagens uma vez que é muito difícil de remover e altamente corrosivo, para além disso não pode ser usado em equipamentos elétricos. Outra alternativa pode passar pela utilização de sistemas de aerossóis de finas partículas, no entanto estes sistemas requerem mais investigação e uma harmonização na sua regulamentação.

#### REFERÊNCIAS

- [1] A. Ferreira, "Agentes extintores para combate a incêndio," *Proteger*, vol. n.º 28. APSEI, pp. 33–36, 2016.
- [2] D. A. Rego da Silva, "Sistemas fixos de extinção de incêndio por agentes gasosos," U. Porto - FEUP, 2010.
- [3] ANEPC, "Nota Técnica n.º 17 - Sistemas automáticos de extinção de incêndio por agentes gasosos.," 2020.
- [4] A. V. Basto, "Breves notas sobre agentes extintores, suas eficácias e utilizações," *Proteger*, vol. n.º 28. APSEI, pp. 37–40, 2016.
- [5] A. E. Cote *et al.*, *NFPA - Fire Protection Handbook-2008-20th*, vol. 1 & 2. 2008.
- [6] P. Europeu and C. da C. Europeia, "Regulamento (CE) n.º 2037/2000 do Parlamento Europeu e do Conselho," *J. Of. da União Eur.*, 2000.
- [7] UNEP, *Eliminating Dependency on Halons - A Self Guide for Low Consuming Countries*. 1999.
- [8] P. E. Robert T. Wickham, "Review of the use of carbon dioxide total flooding fire extinguishing systems," 2003.
- [9] P. Europeu and C. da U. Europeia, "Regulamento (UE) n.º 517/2014 do Parlamento Europeu e do Conselho," *J. Of. da União Eur.*, pp. 195–230, 2014.
- [10] B. Ramfjord, "Listing of GWP Values as per Report IPCC WG1 AR4," pp. 8–11, 2012.
- [11] CEN, "NP EN 15004-1 - Sistemas fixos de extinção de incêndios Sistemas de extinção por agentes gasosos Parte 1: Projeto, instalação e manutenção," *Norma Eur.*, 2012.
- [12] C. Presser and J. C. Yang, "Fire Suppression," in *Handbook of Atomization and Sprays*, Boston, MA: Springer US, 2011, pp. 909–926.
- [13] P. Pequito, "Considerações sobre os agentes extintores gasosos limpos disponíveis no mercado," *Proteger*, vol. n.º 27. APSEI, pp. 55–56, 2016.
- [14] R. M. B. Neto, "Deteção E Extinção De Incêndio Em Data Center," 2014.

## ÍNDICE DE AUTORES

<b>A</b>	
Aline Lopes Camargo .....	223
Amanda Laura Pires .....	63
André Rodrigues .....	12, 184, 208
Antônio B. Leiras .....	54
Antônio B. Tadeu .....	35
Antonio Rubens R. A. Junior .....	152
Armando V. Campos .....	144
Artur Fernandes Costa .....	184
<b>B</b>	
Bernardete de Lourdes Ferreira Minervino .....	44, 71
<b>C</b>	
Carlos Balsa .....	135
Carlos Hermenegildo .....	12
Cristina Calmeiro dos Santos .....	1, 27, 35, 44, 71, 160
<b>D</b>	
Daniela Alves .....	208
Daniel Graça .....	184
Daniel da Silva Gazzana .....	88
David Lucas .....	208
Deives Junior de Paula .....	1, 79
Domingos A. Barbosa Gonçalves .....	198, 251
<b>E</b>	
Elza M.M. Fonseca .....	144
Eusébio Conceição .....	208
<b>F</b>	
Fabricio L. Bolina .....	120
Fernando C. T. Gomes .....	27
Flavia Nascimento .....	160
Flávio Arrais .....	214, 242
<b>G</b>	
Gabriela Dalfollo Brackmann .....	63
Gustavo L. Dias .....	135
Gustavo Silva da Rocha .....	88
<b>H</b>	
Hernâni M. Lopes .....	144
<b>J</b>	
Joaquim Alonso .....	208
João Paulo Correia Rodrigues .....	1, 27, 35, 54, 71, 79, 88, 96, 104, 120, 152, 160, 171, 198, 223, 231, 251, 261
João Leal Vivian .....	112
Johnny Reis .....	12, 184
Jorge Raposo .....	12, 208
<b>L</b>	
Larissa Degliuomini Kirchhof .....	63
Lilian Cristina Ciconello .....	171
Luís Quinta-Nova .....	179
Luís Reis .....	208

<b>M</b>	
Marco P. M. Filipe .....	231, 261
Matheus B. Silveira .....	135
Miguel Sousa .....	12, 184
<b>N</b>	
Nuno Lopes .....	214, 242
<b>P</b>	
Paulo A. G. Piloto .....	135
Paulo Gustavo von Krüger .....	44, 71
Paulo Ramos .....	19, 41
Paulo Vila Real .....	214, 242
Pedro Maia .....	19
<b>R</b>	
Ricardo Hallal Fakury .....	223
Rodrigo Almeida Freitas .....	96, 104
Rogério Cattelan Antochaves de Lima .....	63
Rúben F. R. Lopes .....	35
<b>S</b>	
Sérgio Lopes .....	208
<b>T</b>	
Tiago M. Orantos Borralho .....	198, 251
<b>V</b>	
Vânia S.B. da Silva .....	144
<b>X</b>	
Xavier Viegas .....	208