

**4**as

**JORNADAS de**  
**Segurança**  
**aos Incêndios Urbanos**



**6 e 7 Novembro 2014**

**Instituto Politécnico de Bragança**

**Atas dos Artigos**

# 4<sup>as</sup> JORNADAS de Segurança aos Incêndios Urbanos

## Atas dos Artigos

### ENTIDADES LOCAIS



### APOIO À COMUNIDADE CIENTÍFICA

# FCT

Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
Ministério da Educação e Ciência

### APOIOS



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL



AUTORIDADE NACIONAL  
DE PROTECÇÃO CIVIL



universidade  
de aveiro



ORDEM DOS  
ARQUITECTOS



ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS



### PATROCÍNIOS



centro internacional de gestão da emergência

ISBN 978-989-97210-2-9



# 4<sup>as</sup> JORNADAS de Segurança aos Incêndios Urbanos



Instituto Politécnico de Bragança

## Atas dos Artigos



**TÍTULO:**

Atas dos Artigos das 4<sup>as</sup> Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos

**EDIÇÃO:**

ALBRASCI (Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio)

**EDITORES:**

Débora Ferreira (IPB), Elza Fonseca (IPB), João Carlos Viegas (LNEC), João Paulo C. Rodrigues (UC - ALBRASCI), José Pedro Lopes (ANPC), Luís Mesquita (IPB), Nuno Lopes (UA), Paulo Piloto (IPB)

**DESIGN GRÁFICO:**

Soraia Maduro – CIPweb IPB

**EDIÇÃO:**

1<sup>a</sup>, Novembro de 2014

**ISBN:**

978-989-97210-2-9

**DEPÓSITO LEGAL:**

382800/14

**IMPRESSÃO:**

Bringráfica – Indústrias Gráficas, Lda

**OBSERVAÇÃO:**

Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida sem autorização escrita dos autores e da editora

## **PREFÁCIO**

A Segurança Contra Incêndio de Edifícios (SCIE) atingiu a sua maturidade em Portugal fruto do desenvolvimento sustentado que tem tido na última década não só ao nível da investigação com a realização de vários projetos nacionais e europeus em várias instituições Portuguesas, como com o aparecimento de formação avançada (mestrado e doutoramento) e formação profissional em várias áreas da SCIE e da criação duma regulamentação uniforme para a área, suportada por uma normalização também ela completa e abrangente de toda a área da SCIE. Este desenvolvimento trará enormes retornos não só ao nível da segurança das edificações, bens e pessoas, como económicos, com um reflexo positivo para a sociedade. Portugal está hoje na primeira linha do desenvolvimento na área da SCIE. Poderemos dizer que projetar e construir hoje é mais seguro em termos de SCIE do que há quinze anos atrás e por isso temos que nos sentir orgulhosos.

No acompanhamento deste desenvolvimento, os Laboratórios das instituições públicas Portuguesas também se apetrecharam com novos e importantes equipamentos, que permitem o ensaio e certificação dos produtos das indústrias nacionais, tornando estas mais competitivas na sua ação não só no mercado nacional como internacional.

Portugal é hoje uma referência mundial na área da SCIE, sendo respeitado no Brasil e restantes PALOP como no resto do mundo. Neste relacionamento deve se destacar a ligação com o Brasil não só ao nível dos bombeiros, dos técnicos da empresas e dos professores e investigadores que na ALBRASCI – Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio encontraram um espaço de discussão e colaboração em diferentes iniciativas em SCIE.

As Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos começaram em 2006, aquando da realização do primeiro Mestrado em Segurança Contra Incêndios Urbanos na Universidade de Coimbra, e em cada nova edição o sucesso vai-se renovando com o aparecimento de novos trabalhos científicos com um nível científico cada vez maior. Estas Jornadas têm constituído um fórum de debate alargado entre técnicos e demais interessados na área da SCIE.

As 4<sup>as</sup> Jornadas em SCIE (4JORNINC) realizam-se este ano em Bragança, no Instituto Politécnico, pois esta é uma Escola que ao longo das últimas décadas tem realizado trabalho na área e criou um grupo de investigação que tem atuado ao maior nível em termos nacionais e internacionais. O número e qualidade das publicações submetidas a este evento foi muito bom pelo que o sucesso das 4JORNINC está assegurado.

Para finalizar queria agradecer a sua participação nestas Jornadas que serão certamente do seu maior interesse e profícuas para o seu desenvolvimento profissional.

João Paulo C. Rodrigues



## COMISSÃO ORGANIZADORA

Débora Ferreira (IPB)  
Elza Fonseca (IPB)  
João Paulo C. Rodrigues (UC - ALBRASCI)  
João Carlos Viegas (LNEC)  
Luís Mesquita (IPB)  
Nuno Lopes (UA)  
José Pedro Lopes (ANPC)  
Paulo A. G. Piloto (IPB)



Laboratório Nacional de Engenharia Civil

A small, detailed illustration of a building facade with multiple windows and a central entrance, positioned below the LNEC logo.

## **COMISSÃO CIENTÍFICA**

Aldina M. da Cruz Santiago (FCTUC)  
António Moura Correia (IPC)  
A. Sérgio Miguel (U Minho)  
Carlos Ferreira de Castro (Action Modulers)  
Carlos Pina dos Santos (LNEC)  
Cristina Calmeiro dos Santos (IPCB)  
Débora Ferreira (IPB)  
Elza Fonseca (IPB)  
José Carlos M. Góis (FCTUC)  
João Carlos Viegas (LNEC)  
João Ferreira (IST)  
João Paulo C. Rodrigues (FCTUC)  
João Pinheiro (CDOS Bragança – ANPC)  
João Ramôa Correia (IST)  
Joaquim Barros (U Minho)  
Jorge Gil Saraiva (LNEC)  
Lino Forte Marques (FCTUC)  
Luís Laím (FCTUC)  
Luís Mesquita (IPB)  
Miguel Chichorro Gonçalves (FEUP)  
Nuno Lopes (UA)  
Paulo A. G. Piloto (IPB)  
Paulo Jorge M. F. Vila Real (UA)  
Paulo Lourenço (U Minho)  
Pedro Martins Arezes (U Minho)  
Pedro Vieira Carvalheira (FCTUC)  
Rui Faria (FEUP)  
Vítor Carlos T. Abrantes (FEUP)

## ÍNDICE

<b>PREFÁCIO</b> .....	i
COMISSÃO ORGANIZADORA .....	iii
COMISSÃO CIENTÍFICA .....	iv
<b>PALESTRAS</b> .....	<b>1</b>
O DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE ESTRUTURAS E OS EUROCÓDIGOS ESTRUTURAIS .....	3
PREVENÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA OS RISCOS DERIVADOS DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS.....	27
GRAU DE PRONTIDÃO DOS MEIOS DE SOCORRO E A EFICÁCIA DOS BOMBEIROS PORTUGUESES .....	37
CONTROLO DE FUMO EM GRANDES ÁTRIOS.....	47
VALIDAÇÃO NUMÉRICA DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS EM CONDIÇÕES DE INCÊNDIO.....	61
<b>ARTIGOS</b> .....	<b>111</b>
<b>SESSÃO DE ARTIGOS 1:</b> .....	<b>111</b>
ANÁLISE DA REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS E PROPOSTA DA SUA APLICAÇÃO EM MOÇAMBIQUE.....	113
UMA VISÃO SISTÊMICA DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES NO BRASIL E A POSSIBILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM REGULAMENTO NACIONAL.....	127
ANÁLISE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SEGUNDO OS PRECEITOS DE DESEMPENHO, DURABILIDADE E SEGURANÇA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO CONFORME AS PRESCRIÇÕES NORMATIVAS BRASILEIRAS.....	139
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM INSTALAÇÕES DE ARMAZENAMENTO DE MERCADORIAS.....	149
INCÊNDIOS EM TÚNEIS RODOVIÁRIOS – ENSAIOS À ESCALA REAL .....	157
IMPLEMENTAÇÃO DA DIRETIVA ATEX NO SETOR INDUSTRIAL .....	167
CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDES SECAS.....	177
COMPUTATIONAL SIMULATION ON THE PERFORMANCE OF AIR PLANE JETS FOR SMOKE CONTROL.....	187
CARACTERIZAÇÃO DOS JATOS GERADOS POR VENTILADORES DE IMPULSO.....	199
<b>SESSÃO DE ARTIGOS 2:</b> .....	<b>213</b>
ANÁLISE DO PERIGO DE INCÊNDIO NA ANTIGA VILA DOS PESCADORES EM PORTO ALEGRE (RIO GRANDE DO SUL - BRASIL).....	215
ADEQUAÇÃO DO MÉTODO DE GREENER À AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO NOS CENTROS URBANOS ANTIGOS.....	225
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS.....	235

AValiação DE RISCO DE INCêNDIO URBANO – PROPOSTA DE UM MêTODo PARA ANálISE E GESTãO DO EDIFICáDO EXISTENTE .....	245
ORGANIZAçãO E GESTãO DA SEGURANçA CONTRA INCêNDIOS: PRINCIPAIS GRUPOS DE INTERESSE.....	253
A SEGURANçA OPERACIONAL NA ATIVIDADE DE SALVAMENTO E DE COMBATE A INCêNDIOS .....	263
SEGURANçA CONTRA INCêNDIO EM EDIFÍCIOS GESTãO NO USO DOS EDIFÍCIOS .....	273
ESTUDO DA EVACUAçãO EM CASO DE INCêNDIO EM EDIFÍCIOS.....	283
O CONTROLO DE FUMO POR MEIOS ATIVOS E A EVACUAçãO EM LOCAIS DE RISCO.....	293
<b>SESSãO DE ARTIGOS 3:</b> .....	<b>305</b>
ANálISE NUMÉRICA DA ENCURVADURA POR ESFORçO TRANSVERSO EM VIGAS SUJEITAS A INTERAçãO ENTRE ESFORçO TRANSVERSO E MOMENTO FLETOR A TEMPERATURAS ELEVADAS .....	307
ESTUDO PARAMêTRICO DA RESISTêNCIA AO FOGO DE VIGAS EM C ENFORMADAS A FRIO .....	319
EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURES ON THE BOND STRENGTH OF FRP-STRENGTHENED BRICKS .....	331
ESTUDIO NUMÉRICO DE VIGAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS SOMETIDAS A FLEXIóN A ALTAS TEMPERATURAS.....	341
RESISTêNCIA AO FOGO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE Aço INOXIDáVEL COM SECçõES TUBULARES QUADRADAS DE CLASSE 4 SUJEITOS A FLEXãO COMPOSTA COM COMPRESSãO .....	351
COMPORTAMENTO AO FOGO DE ELEMENTOS DE COMPARTIMENTAçãO DE BASE GESSO SUJEITOS A INCêNDIO NATURAL .....	363
COMPORTAMENTO AO FOGO DE VIGAS DE BETãO ARMADO REFORçADAS à FLEXãO COM LAMINADOS DE CFRP COLADOS EXTERIORMENTE. ESTUDO EXPERIMENTAL .....	375
ANálISE NUMÉRICA DE VIGAS MISTAS PARCIALMENTE REVESTIDAS DE Aço E CONCRETO EM SITUAçãO DE INCêNDIO.....	387
ANálISE TêRMICA DE PILARES DE Aço EXPOSTOS A INCêNDIOS LOCALIZADOS.....	399
<b>SESSãO DE ARTIGOS 4:</b> .....	<b>411</b>
PROPAGAçãO DE CHAMAS ATRAVÉS DE VãOS DE FACHADA EM EDIFÍCIOS.....	413
COMPORTAMENTO AO FOGO DE COLUNAS DE GFRP. ESTUDO EXPERIMENTAL .....	425
BETõES CORRENTES EM SITUAçãO DE INCêNDIO.....	435
ANálISE DE SENSIBILIDADE DOS MODELOS DE CÁLCULO DA EN1993-1-2 PARA O DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE VIGAS C EM Aço ENFORMADAS A FRIO.....	445
BETãO COM ADIçãO DE FIBRAS DE Aço E TêXTEIS RECICLADAS DE PNEU SUJEITO A ALTAS TEMPERATURAS.....	457
ANálISE TêRMICA 2D E 3D DE UM PAVIMENTO/COBERTURA EM MADEIRA COM PERFURAçõES.....	467
RESISTêNCIA AO FOGO DE VIGAS EM MADEIRA E SECçõES DE PERFIS EM Aço.....	475

*4<sup>as</sup> Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos*  
*Instituto Politécnico de Bragança - Portugal - 6-7 de Novembro de 2014*

REDUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS SECÇÕES METÁLICAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS COM BETÃO SUJEITAS AO FOGO .....	483
COMPORTAMENTO AO FOGO DE PAREDES EM TABIQUE.....	493
<b>SESSÃO DE ARTIGOS 5:.....</b>	<b>505</b>
RESISTÊNCIA AO FOGO DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM DIFERENTES PERFURAÇÕES – ANÁLISE EXPERIMENTAL.....	507
RESISTÊNCIA AO FOGO DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM DIFERENTES PERFURAÇÕES – ANÁLISE NUMÉRICA.....	517
RESISTÊNCIA AO FOGO DE BLOCOS DE BETÃO LEVE À BASE DE CAROÇO DE ESPIGA DE MILHO .....	527
REAÇÃO AO FOGO DE BETÃO COM E SEM FIBRAS DE POLIPROPILENO – ANÁLISE EXPERIMENTAL E VALIDAÇÃO NUMÉRICA.....	537
VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE ELEMENTOS NÃO UNIFORMES EM AÇO - VALIDAÇÃO NUMÉRICA DO MÉTODO GERAL DO EC3.....	549
FORMULAÇÃO E COMPORTAMENTO DE TINTAS INTUMESCENTES.....	559
ESTUDIO NUMÉRICO DE VIGAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN EXPUESTAS A FUEGO ISO834.....	569
COMPORTAMENTO AO FOGO DE PERFIS C E Z ENFORMADOS A FRIO .....	579
ENSAIOS DE REAÇÃO AO FOGO DE TINTAS INTUMESCENTES COM GRANULADO DE CORTIÇA.....	589
FATOR DE REDUÇÃO DO NÍVEL DE CARREGAMENTO, $\eta_n$ : VALORES DE PROJETO E CONSEQUÊNCIAS DA SIMPLIFICAÇÃO APONTADA NO EC2-1-2.....	599
NÍVEL DE CARREGAMENTO À TEMPERATURA NORMAL, $n$ : VALORES DE PROJETO E VALORES MÁXIMOS APONTADOS NO EC2-1-2 .....	609

## **RESISTÊNCIA AO FOGO DE BLOCOS DE BETÃO LEVE À BASE DE CAROÇO DE ESPIGA DE MILHO**

**Jorge Faustino**  
Professor  
UTAD – Vila Real

**Nuno Alves**  
Aluno  
UTAD – Vila Real

**Paulo Piloto**  
Professor  
IPB - Bragança

**Déborá Ferreira**  
Professora  
IPB - Bragança

**Elza Fonseca**  
Professora  
IPB - Bragança

**Elisabete Silva**  
Mestre  
UTAD – Vila Real

**Salviano Soares**  
Professor  
UTAD – Vila Real

**Jorge Pinto\***  
Professor  
UTAD – Vila Real

### **RESUMO**

Estudos recentes indicam que o caroço da espiga de milho tem algumas propriedades interessantes, das quais se destacam a leveza e o bom desempenho em termos de capacidade de isolamento térmico e acústico. Neste trabalho de investigação, o caroço da espiga de milho é proposto como agregado no fabrico de blocos de betão leve. Para o efeito, o caroço da espiga de milho é granulado previamente. Posteriormente, as partículas de milho são envoltas numa pasta de cimento para reduzir a capacidade de absorção de água e melhorar a aderência. A aplicação preferencial, dos blocos de espiga de milho, será a construção de paredes divisórias, pelo que o estudo da sua capacidade resistente ao fogo é o objectivo fundamental a alcançar neste trabalho de investigação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Blocos de espiga de milho, construção sustentável; fogo.

### **1. INTRODUÇÃO**

A proposta de soluções construtivas mais sustentáveis e economicamente competitivas tem sido um objectivo constante de investigadores e profissionais do sector da construção civil. O recurso a materiais naturais, orgânicos, locais e renováveis parece ser uma opção viável para alcançar este tipo de soluções. Alternativamente, os produtos orgânicos têm sido propostos e aplicados como materiais de construção civil. Por exemplo, a cinza da casca de arroz tem vindo a ser estudada como sendo um substituto parcial do cimento no fabrico de argamassas [1].

---

\* Autor correspondente – Dep. de Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta dos Prados. 5001-801 Vila Real. Telef.: +351 259350000, Fax: +351 259 350 480, E-mail: tiago@utad.pt

O caroço da espiga de milho também foi aplicado como agregado no fabrico de betão leve não estrutural [2]. Neste caso, existe um interesse adicional em encontrar domínios de aplicação, porque se trata de um produto geralmente tratado como resíduo agrícola. Neste contexto, diversos trabalhos de investigação têm sido desenvolvidos no sentido de tirar proveito deste resíduo agrícola como matéria-prima [3].

No presente estudo, o caroço da espiga de milho é proposto como agregado no fabrico de blocos de betão leve, segundo o processo mecânico correntemente aplicado no fabrico deste tipo de material de construção.

A resistência ao fogo é uma característica importante a ser avaliada neste material de construção e geralmente faz parte da ficha técnica. O comportamento dos blocos de espiga de milho ao fogo será também um factor importante a conhecer, tendo em conta que o campo de aplicação preferencial deste tipo de blocos será a construção de paredes divisórias. Este trabalho pretende dar um contributo neste contexto ao relatar o comportamento ao fogo de blocos de betão leve, à base de granulado de caroço da espiga de milho tratado. Para o efeito, serão efectuados ensaios ao fogo em amostras, num forno de resistência preparado para trabalhar com a curva de incêndio padrão ISO834 [4]. Simultaneamente, serão apresentados resultados da simulação numérica que permitirão, nas mesmas condições, validar os modelos utilizados.

## **2. BLOCOS DE BETÃO LEVE À BASE DE GRANULADO DE CAROÇO DE ESPIGA DE MILHO (BBLGCEM)**

Os blocos de betão leve à base de granulado de caroço de espiga de milho (BBLGCEM) foram fabricados com areia média (0.0 mm – 4.0 mm, MS), areia grossa (0.8 mm – 3.0 mm, LS); brita (2.0 mm – 6.0 mm, G); cimento 32.5 N (C); granulado de caroço de espiga de milho tratado (LWA) e água (W), ao traço 1:1.02:1.22:2.04:0.76:0.88 (C:MS:LS:G:LWA:W). A figura 1 mostra o material LWA utilizado e o tipo de bloco BBLGCEM em estudo.

Tal como foi referido, o LWA (Figura 1.a) pretende ser uma alternativa sustentável aos agregados leves aplicados neste contexto dos blocos de betão leve. O fabrico do LWA consiste na trituração prévia do caroço da espiga de milho de modo a ser possível alcançar partículas com dimensões desejáveis. Depois, essas partículas de caroço de espiga de milho são revestidas exteriormente por uma camada fina de cimento, conferindo uma certa capacidade de impermeabilização à água e aumentando também a aderência destas partículas à argamassa de fabrico dos blocos.

As dimensões (comprimento – L, largura – W e altura – H, figura 1.b), a massa (m) e a densidade aparente ( $\rho$ ) dos blocos BBLGCEM apresentados neste trabalho estão representados na tabela 1 em termos médios (AVG). O desvio padrão (SD) e o coeficiente de variação (CoV) destas grandezas também estão apresentados na Tabela 1 e revelam que a amostragem de blocos fabricados possui uma uniformidade material adequada. Para o efeito, foi considerada uma amostragem de quinze blocos BBLGCEM.

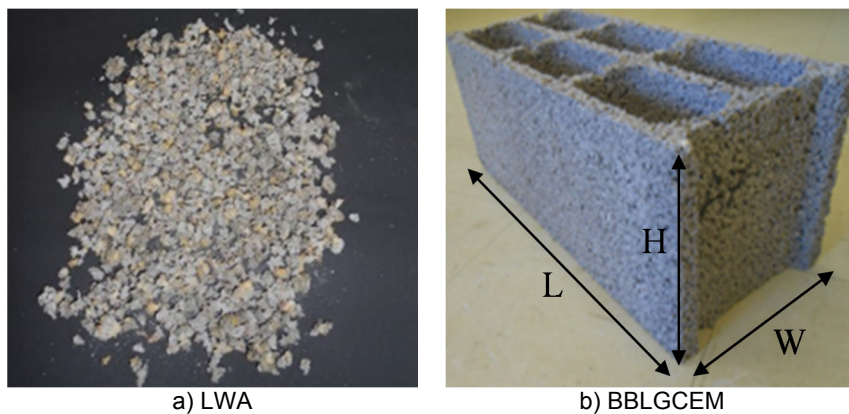


Figura 1: LWA e BBLGCEM

Tabela 1: Dimensões, massa (m) e densidade aparente ( $\rho$ )

	L (mm)	W (mm)	H (mm)	m (kg)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
AVG	496	200	197	14	1748
SD	0.62	0.49	1.57	1	60
CoV (%)	0.12	0.24	0.79	6	3

### 3. ENSAIO AO FOGO DOS BBLGCEM

#### 3.1 Preparação do ensaio

Face à limitação do número de BBLGCEM disponível para ensaio, optou-se por se modificar o ensaio de resistência ao fogo previsto para elementos não portantes (paredes) [5]. Para o efeito, construiu-se uma amostra de “parede” de blocos formada por apenas dois blocos, ver Figura 2.a, em que a amostra de “parede” já se encontra na posição de ensaio (no interior do forno). De modo a ser possível dispor exclusivamente de apenas uma face da amostra de “parede” exposta ao fogo, todas as restantes faces foram isoladas com placas de fibra de vidro, incluindo a face inferior que assenta na base do forno, ver Figura 2.

Foram instalados diferentes tipos de termopares, de modo a monitorizar a evolução da temperatura da “parede”, durante a evolução do ensaio, ver Figura 3. Estão identificados os termopares simples (T), termopares de disco (TD) e termopares de placa (TP). Cinco termopares TD (TD1 a TD5) foram instalados na face não exposta (face inferior), na posição representada na Figura 3.a. As temperaturas registadas por este tipo de termopares são as que efectivamente servirão para avaliar a resistência ao fogo da “parede”. Complementarmente, catorze termopares T (T1 a T14) também foram instalados na parede ao nível das nervuras intermédia e superior dos blocos, assim como quatro termopares TP (TP1 a TP4) que foram colocados nas cavidades dos blocos, posição intermédia, Figuras 2.a e 3. As temperaturas registadas pelos termopares T e TP servirão para complementar e validar o modelo numérico de simulação do comportamento ao fogo dos blocos BBLGCEM. Em particular, os dados registados pelos quatro termopares TP

colocados nos furos intermédios dos dois blocos constituintes da amostra da parede auxiliarão na definição das condições de fronteira térmica a impor nas cavidades dos blocos.

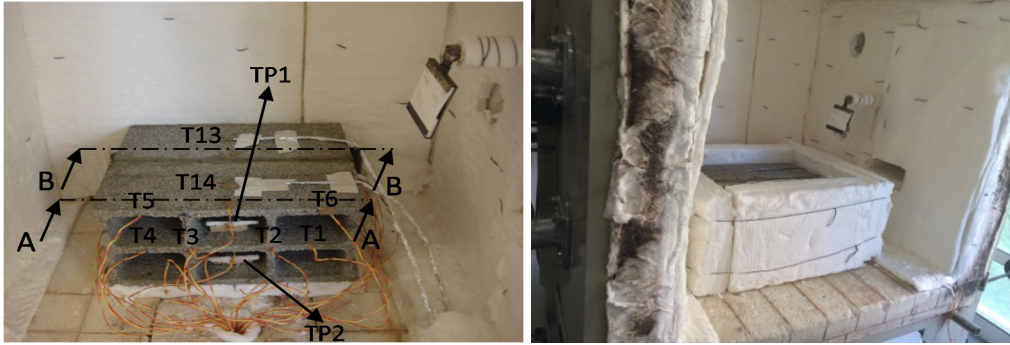


Figura 2: Amostra de blocos BBLGCEM. Esq: Instrumentação, Dta: Isolamento lateral

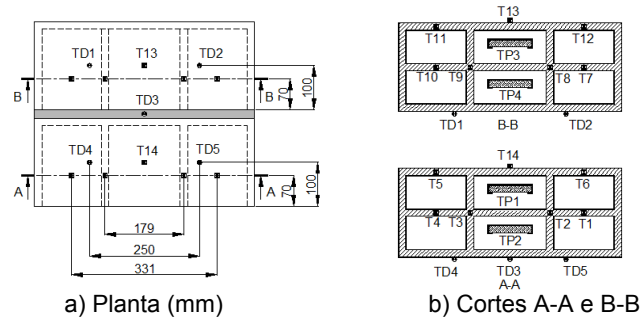


Figura 3: Esquema de montagem dos termopares

### 3.2 Ensaio

O ensaio de resistência ao fogo foi realizado num forno de resistência preparado para trabalhar com a curva de incêndio padrão ISO 834 [4]. O ensaio foi modificado para ter em consideração os critérios de isolamento ao fogo contemplados em EN1363-1 [6], ver Figura 4.

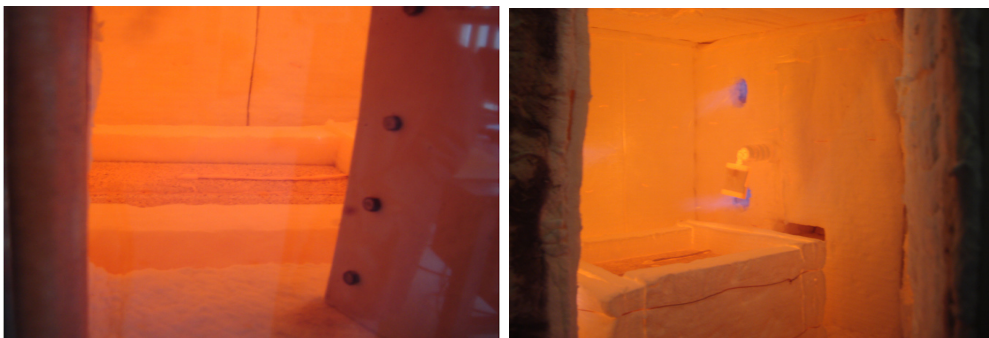


Figura 4: Ensaio da amostra (Esq.: durante ensaio, Dta.: Final do ensaio).

Para avaliação do critério de isolamento, será necessário determinar a evolução da temperatura na face não exposta, garantindo que a amostra de parede continua a desempenhar as suas funções, sem que se ultrapasse qualquer dos critérios: gere um aumento da sua temperatura média em relação à temperatura inicial em 140°C (critério de isolamento ao fogo 1) ou gere, em qualquer ponto da face não exposta, ao fogo um aumento em relação à temperatura inicial de 180°C (critério de isolamento ao fogo 2). A temperatura inicial da face não exposta ao fogo da parede foi determinada através da média aritmética da temperatura registada pelos termopares TD no início do ensaio. Neste caso, essa temperatura inicial foi de  $T_{D0}=21.8^{\circ}\text{C}$ .

O ensaio decorreu durante 4500 segundos e o critério 2 foi violado aos 4334 segundos, conferindo uma resistência ao fogo de isolamento de 72 minutos completos.

A amostra de “parede” de alvenaria de blocos BBLGCEM manteve a integridade estrutural após o ensaio, ver Figura 2.b. Caso a amostra tivesse sido montada na vertical, posição comum em aplicação corrente, a integridade estrutural da parede poderia eventualmente não estar garantida, tendo em consideração o efeito do peso próprio e eventuais fenómenos de empenamento.

#### **4. MODELAÇÃO NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO AO FOGO DOS BLOCOS BBLGCEM**

Não são conhecidos os valores das propriedades térmicas, em particular a variação da condutividade térmica e do calor específico do material dos blocos BBLGCEM. No entanto, o Eurocódigo 6 [7] disponibiliza curvas de propriedades de materiais em função da temperatura (T) para blocos de betão leve tradicionais, cujas respectivas massas volúmicas estão geralmente compreendidas entre 600 kg/m<sup>3</sup> e 1000 kg/m<sup>3</sup>. Com base em várias simulações numéricas de aproximação aos resultados obtidos experimentalmente, foram consideradas as propriedades térmicas não lineares conforme apresentado na Figura 5 e aplicadas na análise dos blocos BBLGCEM. O valor de emissividade material dos blocos BBLGCEM foi considerado igual a 0.87, considerando os valores utilizados para argamassas correntes.

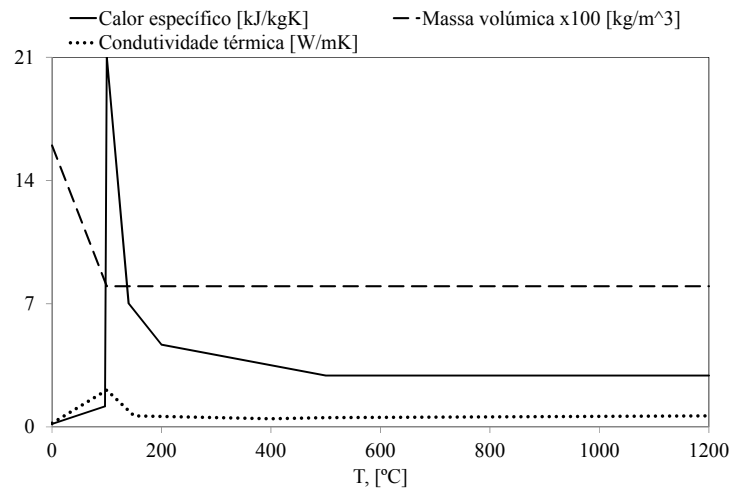


Figura 5: Propriedades térmicas para os blocos BBLGCEM

Tendo em conta a geometria dos blocos BBLGCEM e as respetivas dimensões (Tabela 1), foi possível definir a malha de elementos finitos representativa da amostra de alvenaria de BBLGCEM em estudo. Para o efeito, foram utilizados elementos SOLID70 (elementos de 8 nós, com 1 grau de liberdade por cada nó), do programa de simulação numérica Ansys [8], correspondendo a uma malha conforme apresentado na Figura 6.

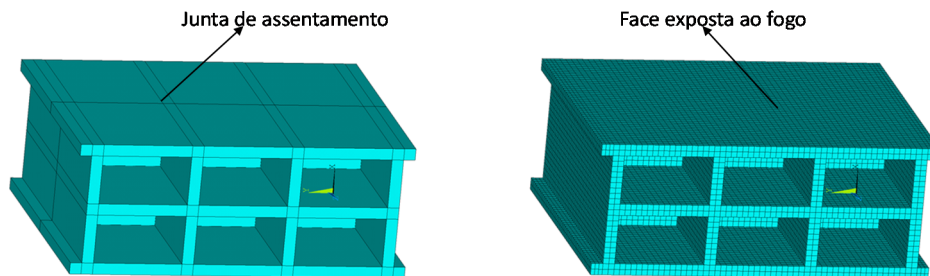


Figura 6: Malha de elementos finitos da amostra de alvenaria de parede de BBLGCEM

As condições de fronteira utilizadas no modelo numérico são de convecção e de radiação na face exposta e nas cavidades, [9]. Na face exposta ao fogo foi considerada a evolução da temperatura de acordo com a evolução da curva ISO 834. Nas cavidades do bloco foi considerada a evolução da temperatura determinada pelos registos de curvas obtidas por termopares de placa TP1, TP2, TP3 e TP4 durante os ensaios experimentais. O coeficiente de convecção utilizado foi de  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$  e o valor da emissividade do fogo igual a 1.

## 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Nas condições de ensaio ao fogo, a curva de incêndio experimental (Real Forno, Figura 7) seguiu a respetiva curva padrão (ISO 834, Figura 7), dentro dos limites da norma de ensaios [6]. As

curvas de temperatura registadas pelos TP (TP1\_e a TP4\_e) instalados nas cavidades centrais (Figura 2.a) dos dois blocos da parede também estão definidas na Figura 7. Verifica-se que existe uma aproximação entre as curvas TP1\_e e TP3\_e. Por sua vez, em relação às curvas TP2\_e e TP3\_e parece haver um maior desfasamento, em particular, a partir dos 2000 segundos de ensaio, Figura 8. Este facto poderá eventualmente ser justificado pelo processo de isolamento ao fogo da amostra de “parede”, preconizado no interior do forno e que correspondeu a uma solução simplificada. As curvas de temperatura dos TP também permitem compreender o processo de aquecimento da amostra ao longo do ensaio. As cavidades superiores dos blocos da parede, relativos à localização dos TP1 e TP3 e que estão mais próximos da face da parede exposta ao fogo, apresentam temperaturas significativamente superiores em relação aos termopares de placa TP2 e TP4, localizados nas cavidades inferiores e mais protegidos da ação do fogo.

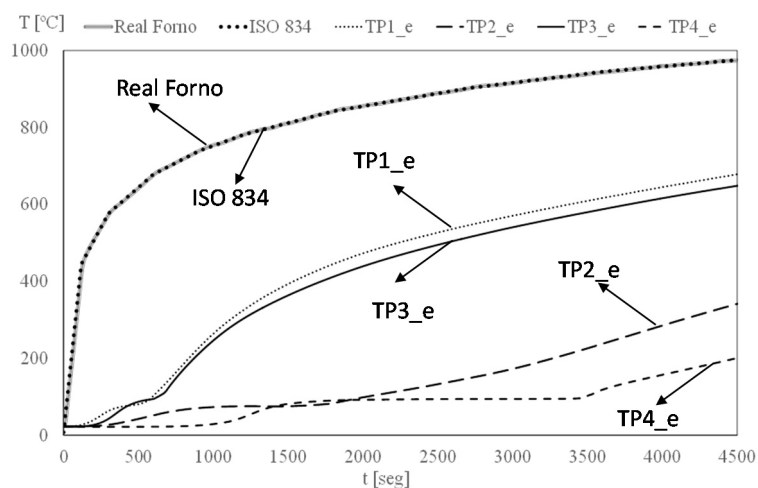


Figura 7: Curvas de incêndio real e ISO 834. Curvas dos termopares de placa (TP)

Neste caso e com base nos critérios de integridade ao fogo identificados na Secção 4, a amostra de parede de blocos BBLGCEM deixa de cumprir os requisitos regulamentares em termos de resistência ao fogo quando o valor médio das temperaturas ( $TD_{media\_e}$ ) registadas em cada instante pelos cinco termopares de disco (TD1 a TD5) instalados na face não exposta ao fogo da amostra da parede for inferior ou igual a 161.8°C (critério de isolamento ao fogo 1) ou quando o valor da temperatura registado em cada instante pelo termopar de disco  $i$  ( $TD_i$ ) for inferior ou igual a 201.8°C (critério de isolamento ao fogo 2).

O aumento da temperatura na face não exposta da parede permite caracterizar o comportamento ao fogo deste elemento construtivo. Tal como é possível observar na Figura 8, o critério de isolamento ao fogo 2 foi violado em primeiro lugar, pelo registo de temperatura máxima no termopar (TD4), ultrapassando em 180 °C o valor da temperatura média inicial (21.8 °C). O tempo de resistência foi de 4330 segundos (72 minutos completos) sujeita a um cenário de fogo caracterizado pela curva de incêndio padrão ISO 834, garantindo a classificação de I60.

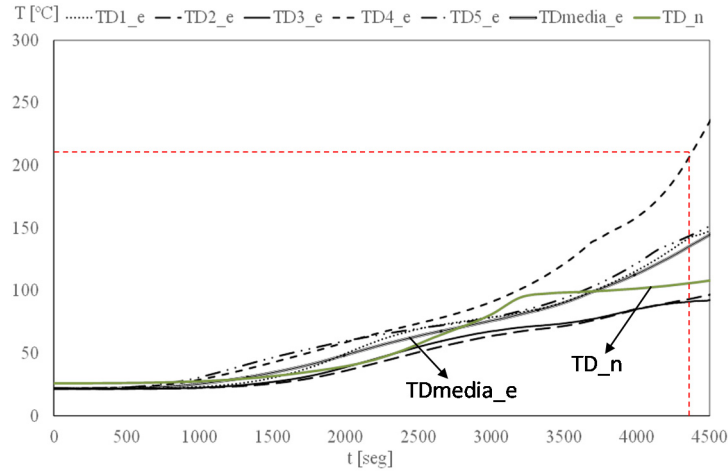


Figura 8: Evolução da temperatura da face da parede não exposta ao fogo. Valores experimentais e numéricos

Tendo em consideração a boa aproximação das curvas da temperatura média, TDmedia\_e (experimental) e TD\_n (numérica), representadas na Figura 8, é possível validar o modelo numérico de simulação do comportamento ao fogo da amostra da parede de blocos BBLGCEM definido e proposto neste trabalho de investigação. A Figura 9 apresenta o campo de temperatura da amostra de parede para o instante correspondente ao final do ensaio ( $t=4500$  seg). A Figura 10 apresenta as curvas de temperatura relativas a alguns dos termopares T utilizados. As temperaturas registadas por estes termopares estão próximas dos resultados numéricos (Figura 10). Deste modo, é possível afirmar novamente que o modelo numérico proposto neste trabalho parece ser adequado para simular numericamente o comportamento ao fogo de blocos de betão leve, em particular, os blocos BBLGCEM.

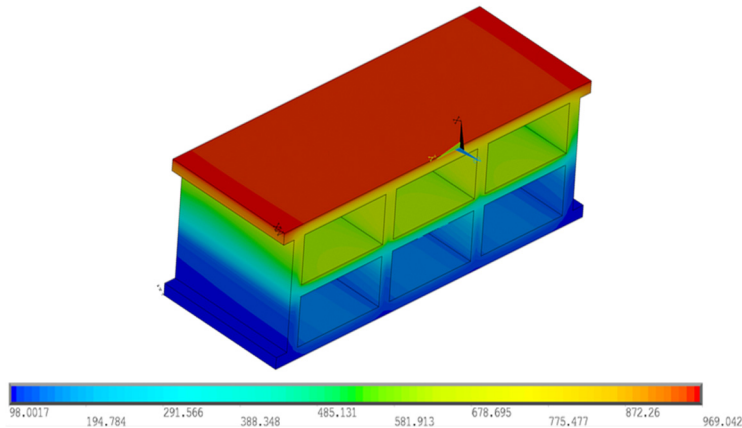


Figura 9: Resultados numéricos da temperatura da parede no instante 4500 segundos

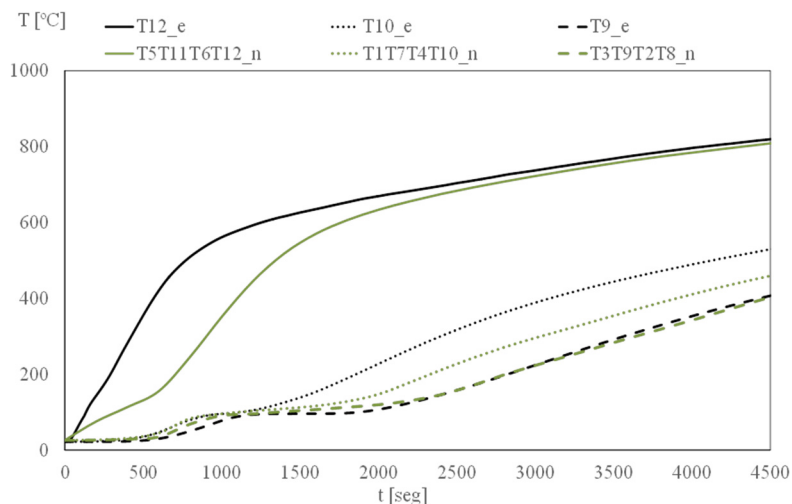


Figura 9: Temperaturas na amostra (resultados experimentais e numéricos).

## 6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram estudados blocos de betão leve, à base de granulado de caroço de espiga de milho (BBLGCEM), em termos de comportamento ao fogo. Foi possível caracterizar o desempenho térmico dos blocos BBLGCEM em cenário de incêndio. A caracterização do desempenho térmico é fundamental para garantir a sua adequabilidade como material de construção de paredes divisórias. Essa adequabilidade está relacionada com a capacidade do material em se manter íntegro durante um determinado período de tempo e em condições adversas de temperatura, garantindo as condições de isolamento para mais de 60 minutos.

Para o efeito, foi efectuado um estudo experimental do comportamento ao fogo de uma parede constituída por dois blocos BBLGCEM. O critério de isolamento foi violado pela existência de um termopar com registo de um aumento de temperatura máxima acima do valor da temperatura média inicial em 180 °C. O aumento valor médio da temperatura da face não exposta nunca foi superior a 140 °C.

Os resultados experimentais permitiram validar um modelo numérico de simulação do comportamento ao fogo da parede de blocos BBLGCEM, desenvolvido e proposto neste trabalho. Esta validação numérica permite o ajustamento das propriedades do material dos BBLGCEM assim como permitirá o estudo de resistência ao fogo de outras tipologias de blocos BBLGCEM (diferentes formas geométricas e dimensões). Apesar dos resultados alcançados neste trabalho de investigação serem muito satisfatórios e promissores, eles também devem ser considerados preliminares. Esta limitação deve-se ao facto de apenas se ter efectuado um ensaio ao fogo de uma amostra de parede não normalizada.

## REFERÊNCIAS

- [1] Ganesan, K., Rajagopal, K. & Thangavel, K. - *Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete*, *Construction and Building Materials*, vol. 22, 2008, p.1675-1683.
- [2] Pinto *et al.* - *Corn cob lightweight concrete for non-structural applications – Construction and Building Materials*, vol. 34, 2012, p. 346-351.
- [3] Pinto et al (2011). *Corn`s cob as a potential ecological thermal insulation material. Energy and Buildings*. vol. 43, Issue 8, 2011, p. 1985-1990.
- [4] ISO 834-1. "Fire-resistance tests - Elements of building construction – Part 1: general requirements". 1999.
- [5] EN1364-1 – Ensayos de Resistencia al fuego de elementos no portantes – Parte 1: Paredes, 1999.
- [6] EN1363-1 - Fire resistance tests - Part 1: General requirements. CEN – European Committee for Standardization, 1999.
- [7] EN1996-1-2: 2005. Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-2: General rules – structural fire design. CEN – European Committee for Standardization
- [8] ANSYS Teaching Introductory, Release 15.0, Help System, ANSYS, Inc.
- [9] EN 1991-1-2: 2002. Eurocode 1: Actions on structures. - Part 1-2: General actions – actions on structures exposed to fire. CEN – European Committee for