



# 6JORNINC

JORNADAS DE SEGURANÇA  
AOS INCÊNDIOS URBANOS



# 1JORPROCIV

JORNADAS DE PROTEÇÃO CIVIL

João Paulo C. Rodrigues  
António Moura Correia  
Cristina Calmeiro dos Santos

**ORGANIZAÇÃO**

ALBRASCI . ASSOCIAÇÃO LUSO-BRASILEIRA  
PARA A SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA





UNIVERSIDADE DE  
**COIMBRA**



albrasci

associação luso-brasileira  
para a segurança contra incêndio

# ***6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos***

## ***1as Jornadas de Proteção Civil***

**Departamento de Engenharia Civil  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Universidade de Coimbra**

**29 e 30 de novembro de 2018**

**Atas das Comunicações das 6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos e das 1as Jornadas de Proteção Civil**

**Autores: João Paulo Correia Rodrigues  
António Moura Correia  
Cristina Calmeiro dos Santos**

**Primeira edição  
novembro, 2018**

Copyright © 2018 João Paulo C. Rodrigues

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

**ISBN: 978-989-96461-9-3**

**Edição:**

**ACIV – Associação para o Desenvolvimento da Engenharia Civil**

## **PREFÁCIO**

A Segurança Contra Incêndio de Edifícios (SCIE) tem uma importância vital na vida das sociedades, pois está em jogo não só a vida das pessoas como também interesses diversos tais como, por exemplo, os bens patrimoniais, os valores históricos e arquitectónicos com forte simbolismo e, ainda, a continuidade 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, dos vários projetos de investigação e dos cursos que têm sido realizados. Esta é, por outro lado, uma área em que existe ainda muito conhecimento empírico, adquirido ao longo de anos de contatos 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, Portugal 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 até agora não tinha. As partes dos Eurocódigos de dimensionamento ao fogo das estruturas em conjunto com a regulamentação nacional constitui hoje um diferencial positivo que permite a construção de edificações mais seguras em relação ao incêndio.

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 e estão atualmente na sua 6ª edição. Estas Jornadas têm constituído um fórum de discussão dos problemas da área, mas também das evoluções tanto ao nível da regulamentação como também das novas tecnologias.

Este ano realizam-se também em paralelo com as 6JORNINC, as 1<sup>as</sup> Jornadas em Proteção Civil (1JORPROCIV) que pretendem também elas constituir um fórum de discussão dos problemas e dos novos desenvolvimentos da área. Estas Jornadas realizar-se-ão a cada dois anos em conjunto com as JORNINC pretendendo reunir investigadores, técnicos e demais pessoas interessadas na área.

Para finalizar queria desejar-lhe as boas vindas a estas Jornadas e à UC e espero que este evento seja do seu maior interesse para si, sedimentando o seu conhecimento técnico e científico, e que também permita estabelecer novos contatos com outras pessoas da área.

**João Paulo Correia Rodrigues**

(Professor de Enga. Civil e de Enga. de Segurança ao Incêndio da UC)

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos*  
*1as Jornadas de Proteção Civil*  
*Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

# **Comissões**

## **Comissão Organizadora**

Aline Lopes Camargo - (Universidade de Coimbra)  
Amarildo Benzane - (Universidade de Coimbra)  
António Moura Correia - (Instituto Superior de Engenharia de Coimbra)  
Cristina Calmeiro dos Santos - (Instituto Politécnico de Castelo Branco) (Co-coordenadora)  
Débora Ferreira - (Instituto Politécnico de Bragança)  
Hugo Caetano - (Universidade de Coimbra)  
João Paulo Correia Rodrigues - (Universidade de Coimbra) (Coordenador)  
João Viegas - (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)  
José Pedro Lopes - (Autoridade Nacional de Proteção Civil)  
Nuno Lopes - (Universidade de Aveiro)  
Rúben Lopes - (Universidade de Coimbra)  
Thiago Brazeiro - (Universidade de Coimbra)

## **Comissão Científica**

Alexandre de Oliveira Tavares (Universidade de Coimbra)  
Aldina M. da Cruz Santiago (Universidade de Coimbra)  
António Leça Coelho (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)  
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)  
Domingos Xavier (Universidade de Coimbra)  
Elza Fonseca (Instituto Politécnico de Bragança)  
Fernando Pedro S. da S. D. Simão (Universidade de Coimbra)  
José Carlos M. Góis (Universidade de Coimbra)  
João Carlos Viegas (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)  
João Paulo Correia Rodrigues (Universidade de Coimbra) (Coordenador)  
João Ramôa Correia (Universidade de Lisboa)  
José Luís Zêzere (Universidade de Lisboa)

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos  
1as Jornadas de Proteção Civil  
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

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 Jorge M. F. Vila Real (Universidade de Aveiro)  
Paulo Lourenço (Universidade do Minho)  
Pedro Coelho (Universidade de Lisboa)  
Rui Faria (Universidade do Porto)

## **Índice**

<b>Prefácio</b> .....	iii
<b>Comissões</b> .....	v
<b>Índice</b> .....	vii

### **6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos**

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

DOMINGOS XAVIER VIEGAS

#### **SESSÃO 1 – REGULAMENTAÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO**

##### **O IMPACTO DO INCÊNDIO DE PEDRÓGÃO GRANDE NAS ESTRUTURAS**

Luís Ribeiro, André Rodrigues, Davi Lucas, Domingos Xavier Viegas

.....3

##### **HARMONIZAÇÃO DOS REQUISITOS REGULAMENTARES REFERENTES A MEIOS DE SEGUNDA INTERVENÇÃO PARA COMBATE A INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS**

Ana Sousa, Tiago Ribeiro

.....11

##### **PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM UMA ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO BASEADO NO DESEMPENHO**

António B. Leiras, João Paulo C. Rodrigues

.....19

##### **A REGULAMENTAÇÃO DE SCIE PORTUGUESA E O REFERENCIAL FRANCÊS**

Paulo Ramos, João Paulo C. Rodrigues

.....27

##### **REVISÃO DA LEGISLAÇÃO NACIONAL E INTERNACIONAL NA ÁREA DA SEGURANÇA AO INCÊNDIO E ANÁLISE DA SUA ADEQUAÇÃO À REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM NÚCLEOS URBANOS ANTIGOS**

Tiago Miguel Ferreira, A. Leça Coelho, José Domingues

.....35

##### **A IMPORTÂNCIA DOS OBJETIVOS FUNCIONAIS NOS REGULAMENTOS DE SCIE**

Paulo Ramos, João Paulo C. Rodrigues

.....43

#### **SESSÃO 2 – MATERIAIS A ALTAS TEMPERATURAS**

##### **CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE PLACAS DE SILICATO DE CÁLCIO A TEMPERATURAS ELEVADAS: UMA ABORDAGEM NUMÉRICA E EXPERIMENTAL**

Thiago Oliveira, Thiago Alves, Luís M. R. Mesquita

.....49

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos  
1as Jornadas de Proteção Civil  
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

<b>RESISTÊNCIA TERMOMECÂNICA EM REGIME ESTACIONÁRIO DE PROVETES DE TERRA COMPRIMIDA</b> Diogo Lima, Edgar Soares, Débora Ferreira, Luís Mesquita, Tiago Miranda e Leitão Dinis .....	59
<b>COMPORTAMENTO AO FOGO DE BLOCOS ECOLÓGICOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS</b> Débora Ferreira, Eduarda Luso, Lurdes Cruz, Eduarda Nepomuceno .....	65
<b>CARACTERIZAÇÃO DE TERMOMECÂNICA DE MATERIAIS REFRAATÓRIOS: O ESTADO DE ARTE</b> Rafael Luiz Oliveira, João Paulo Rodrigues, João M. Pereira .....	75
<b>AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E DA REAÇÃO AO FOGO DE PAINÉIS DE DERIVADOS DE MADEIRA</b> Lucas Coimbra Ferle, Gerson H. Dos Santos, Luís Mesquita .....	83
<b>APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DE CERÂMICAS REFRAATÓRIAS: ESTADO DA ARTE</b> Rafael Luiz Oliveira, João Paulo Rodrigues, João M. Pereira .....	91
<b>PALESTRA II- Estruturas e Materiais em Situação de Incêndio</b> PAULO PILOTO	
<b>SESSÃO 3 – ESTRUTURAS</b>	
<b>RESISTÊNCIA AO FOGO DA SECÇÃO TRANSVERSAL DE PERFIS ESBELTOS EM AÇO INOXIDÁVEL</b> Nuno Lopes, Carlos Couto, Jorge Azevedo, Paulo Vila Real .....	101
<b>RESISTÊNCIA AO FOGO DE LIGAÇÕES MADEIRA-AÇO (W-S-W), METODOLOGIAS DE CÁLCULO ANALÍTICA E COMPUTACIONAL</b> Fernando Miranda, Elza M M Fonseca, Jorge L N Góes .....	109
<b>NOVA PROPOSTA DE CÁLCULO PARA VIGAS-COLUNA EM AÇO ENFORMADAS A FRIO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO</b> Flávio Arrais, Nuno Lopes, Paulo Vila Real .....	119
<b>PARTIALLY ENCASED COLUMNS: STRENGTH AND STIFFNESS EFFECT ON THE BUCKLING RESISTANCE UNDER FIRE</b> Paulo A. G. Piloto, Bruno F. Alfredo, Diego R. Rossetto .....	127

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos  
1as Jornadas de Proteção Civil  
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

**REHABILITATION OF FIRE DAMAGED BUILDINGS**

António Rubens R. A. Junior, João Paulo C. Rodrigues, Joaquim Carlos P. de Almeida  
.....137

**FIRE RESISTANCE OF COMPOSITE SLABS WITH PROFILED STEEL DECKING: TRAPEZOIDAL AND RE-  
ENTRANT NUMERICAL SIMULATION**

Paulo A. G. Piloto, Lucas M.S. Prates, Carlos Balsa, Ronaldo Rigobello  
.....145

**SESSÃO 4 – SISTEMAS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO**

**IMPACTE DAS DIFERENÇAS DE PRESSÃO GERADAS PELO CONTROLO DE FUMO EM TÚNEIS**

João Viegas, Carlos Costa, Bernardo Monteiro, Paulo Pereira  
.....157

**SISTEMAS DE CONTROLO DE FUMO PASSIVOS – UMA PROPOSTA PARA A REVISÃO DO  
REGULAMENTO TÉCNICO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS**

Tiago Ribeiro, Ana Sousa  
.....169

**ALTERAÇÕES NA MICROESTRUTURA DE BETÕES FIBROSOS DE ALTA RESISTÊNCIA SUJEITOS A  
TEMPERATURAS ELEVADAS**

Hugo Caetano, João P.C. Rodrigues  
.....179

**INTEGRAÇÃO DAS REDES PREDIAIS DE COMBATE A INCÊNDIO NO NOVO REGULAMENTO GERAL DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Armando Silva Afonso, Carla Pimentel-Rodrigues  
.....187

**FERRAMENTA BIM PARA VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE NORMAS TÉCNICAS (CODE CHECKING)  
RELACIONADAS ÀS SAÍDAS DE EMERGÊNCIA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

Marcelo Porto, José Franco, Renata Baracho, Lucas Alves, Isis Kroeff, Karina Oliveira  
.....195

**1as Jornadas de Proteção Civil**

**PALESTRA III - Desastres Naturais e seus Planos de Contingência**

JOSÉ LUÍS ZÊZERE

**SESSÃO 5 – PROTEÇÃO CIVIL**

**DETERMINAÇÃO DA SEVERIDADE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS COM RECURSO A IMAGENS SENTINEL-  
2**

José Gaspar, Jorge Pereira  
..... 207

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos  
1as Jornadas de Proteção Civil  
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO WILDFIRE ANALYST NO PLANEAMENTO DO COMBATE AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS**

José Gaspar, Tiago Marinho, Verónica Catarino

.....217

**ANÁLISE BASEADA NO DESEMPENHO À EFICÁCIA DAS ORGANIZAÇÕES DE RESPOSTA A EMERGÊNCIAS EM EDIFÍCIOS E RECINTOS**

António B. Leiras, João Paulo C. Rodrigues

.....225

**ANÁLISE DA PERCEÇÃO DE RISCO DA COMUNIDADE DO FRADE, PARA UMA EMERGÊNCIA NA CENTRAL NUCLEAR ALMIRANTE ÁLVARO ALBERTO**

Alexandre Ribeiro

.....233

**CONTRIBUIÇÃO PARA A RESILIÊNCIA DA COMUNIDADE ACADÉMICA EM CASO DE SISMO E INCÊNDIO**

Ângela Santos, Margarida Queirós

.....243

**A AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO E OS PLANOS MUNICIPAIS DE EMERGÊNCIA – UM ESTUDO APLICADO A COIMBRA**

Marta Ribeiro, João Paulo C: Rodrigues

.....247

**SESSÃO 6 – PROTEÇÃO CIVIL**

**ANÁLISE CRÍTICA DE MÉTODOS E MODELOS DE ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS. SUAS POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES**

António Leça Coelho, Tiago Miguel Ferreira

.....261

**INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS NA CIDADE DA BEIRA - MOÇAMBIQUE**

Nádia Farinha, Cristina Calmeiro dos Santos

.....269

**ANÁLISE DOS DANOS EM ESTABELECIMENTOS INDUSTRIAIS CAUSADOS POR INCÊNDIOS RURAIS: CASO DO INCÊNDIO DE OUTUBRO 2017 NA REGIÃO CENTRO DE PORTUGAL**

Hadassa Lima, José Góis, Miguel Almeida

.....281

**ROBÔS PARA DETEÇÃO E COMBATE A INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS**

Carolina Conceição, Lino Marques

.....291

**PALESTRA IV- Sistema Nacional de Proteção Civil**

PATRÍCIA GASPAR

**SESSÃO 7 – PROTEÇÃO CIVIL**

## **RESISTÊNCIA TERMOMECÂNICA EM REGIME ESTACIONÁRIO DE PROVETES DE TERRA COMPRIMIDA**

**Diogo Lima**  
Aluno  
IPB - Bragança

**Edgar Soares**  
Aluno  
UM – Guimarães

**Débora Ferreira<sup>1</sup>**  
Professora  
IPB - Bragança

**Luís Mesquita**  
Professor  
IPB - Bragança

**Tiago Miranda**  
Professor  
UM – Guimarães

**Dinis Leitão**  
Professor  
UM – Guimarães

### **SUMÁRIO**

O trabalho desenvolvido baseia-se num conjunto de ensaios experimentais de resistência à compressão em provetes cilíndricos de terra compactada. Cinco amostras com diferentes percentagens de estabilizante, cal e cimento, em relação a diferentes patamares de temperatura foram analisadas. É objetivo deste estudo comparar o comportamento dos provetes e compreender a influência dos estabilizadores e da temperatura na sua resistência mecânica. Os ensaios a temperaturas elevadas são realizados em regime estacionário. Os resultados permitem aferir qual a melhor mistura, ao nível do desempenho, considerando a resistência máxima, comportamento mecânico, economia e sustentabilidade. Após a análise dos resultados, a composição M2 com 5.0% cal e 7.5% cimento apresenta-se como a melhor opção. Adicionalmente, é analisada a resistência residual dos provetes da amostra M2 após exposição a temperaturas elevadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Provetes de terra comprimida; resistência ao fogo; resistência residual.

### **1. INTRODUÇÃO**

A construção em terra está presente em várias partes do mundo, principalmente devido à disponibilidade e facilidade da terra como material da construção. A data exata em que surgiram as primeiras construções em terra não é conhecida, porém, estima-se que tenha surgido de uma forma natural através da necessidade básica do ser humano de se proteger do clima, animais e pessoas. Atualmente a construção em terra continua a ser usada principalmente em países em desenvolvimento e estima-se que cerca de um quarto da população mundial habite numa construção em terra demonstrando a relevância deste tipo de construção, [1].

A terra é um recurso natural disponível praticamente em todo o mundo e o seu uso é praticado por populações locais, pelo que a construção em terra está conotada à arquitetura vernacular. Isto significa também que a variabilidade existente entre solos e os diferentes enquadramentos sociais, culturais e económicos destas populações resultam numa grande diversidade de técnicas construtivas tradicionais. Apesar disto, a alvenaria de adobe e a construção em taipa são geralmente distinguidas como as técnicas mais populares, [2].

---

<sup>1</sup> Débora Ferreira – Instituto Politécnico de Bragança, Departamento de mecânica aplicada, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 BRAGANÇA, Portugal. Email: [debora@ipb.pt](mailto:debora@ipb.pt)

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos*  
*Las Jornadas de Proteção Civil*  
*Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

Atualmente, a construção em terra é cada vez mais reconhecida e aceite como alternativa à construção dita convencional, devido à sua elevada sustentabilidade, bom desempenho térmico e acústico, elevada resistência ao fogo e baixo custo do material, [3]. Contudo, o maior obstáculo ao recurso à construção em terra prende-se com o facto destes materiais (terra) em geral não serem considerados materiais normalizados. A grande variabilidade e heterogeneidade das propriedades da matéria-prima (solo), e processos construtivos sem controlo de qualidade podem ser apontados como os principais fatores desta situação. Além disto, os materiais de terra são associados a baixas resistências mecânicas, ao fraco desempenho sísmico das construções e falta de durabilidade à ação da água. Em geral, estas ideias levam a uma fraca aceitação da construção em terra em países desenvolvidos, onde este tipo de construção também é erradamente associado a uma construção de subsistência e à pobreza.

A necessidade de se adotarem soluções construtivas mais sustentáveis na indústria da construção tem levado ao melhoramento dos materiais de terra e dos respetivos processos construtivos. A construção em alvenaria de blocos de terra comprimida (BTC) é provavelmente o caso mais relevante deste melhoramento, onde este tipo de construção pode ser visto como uma modernização da alvenaria de adobe. Os BTC são produzidos com recurso a prensas, onde a terra húmida é compactada estaticamente num molde específico para formar o bloco, que é imediatamente desmoldado e posto a secar. Este processo permite uma uniformização da geometria dos BTC e um aumento considerável da sua densidade, relativamente a unidades de adobe, promovendo uma resistência mecânica bastante superior. Os BTC podem ser obtidos por meio de uma prensa manual ou com recurso a prensas hidráulicas cuja pressão de compactação é superior, e portanto, permitem BTC com melhores propriedades mecânicas, [4]. Esta técnica construtiva tem ganho alguma popularidade em países como Alemanha, Austrália, Brasil, Espanha, França, Índia, Nova Zelândia e Zimbabué, onde é utilizada como forma de construção sustentável de baixo custo e onde de facto existem algumas recomendações e normas aplicáveis [5, 6, 7, 8, 9].

A estabilização química por adição de cal ou cimento é outra forma de melhoramento comum no processo de fabrico de BTC, especialmente no caso de o solo disponível não apresentar características adequadas. A sua estabilização visa sobretudo a melhoria das suas propriedades mecânicas e a manutenção das suas características ao longo do tempo (durabilidade). A estabilização química é feita com a introdução de componentes (ligantes) nos solos que resulta na melhoria da sua resistência e diminuição da sua suscetibilidade às variações de humidade. Dos diversos produtos químicos utilizados para a estabilização, o cimento é o utilizado de forma mais generalizada. Esta solução construtiva é menos atrativa do ponto de vista económico e ambiental. A estabilização através da ativação alcalina de cinza volante em aplicações geotécnicas, [10, 11] e construção em taipa [12] é um tema que tem sido estudado recentemente, e que tem como objetivo diminuir o impacto ambiental da estabilização química convencional neste tipo de aplicações.

Os Blocos de Terra Comprimida (BTC) são incombustíveis, não exalam gases tóxicos e por isso os produtos da combustão não são prejudiciais à saúde humana. São maus condutores de calor (possui baixa condutividade térmica a temperatura ambiente). Estas características concedem ao BTC uma boa reação ao fogo, [13].

A deterioração do BTC, sujeito a temperaturas elevadas, manifesta-se de forma desconhecida, modificando o seu comportamento conforme o estabilizante contido na sua composição. O aquecimento do BTC conduz à degradação diferencial afetando as propriedades mecânicas, resistência e módulo de elasticidade, conforme a temperatura a que for exposto. Há perda de rigidez podendo originar o colapso dos elementos estruturais, tanto na fase de aquecimento como na fase de arrefecimento.

O trabalho desenvolvido é sobre a segurança das construções em Bloco de Terra Comprimida (BTC) quando sujeitas a situações de incêndio. Os resultados da resistência obtidos pelos BTC, a temperaturas elevadas e após arrefecimento, são analisados tendo como principal objetivo aumentar o conhecimento e, assim, garantir a segurança dos bens e principalmente das pessoas. À amostra com melhor desempenho a temperaturas elevadas foram realizados ensaios de compressão residual, [14,15]. A realização de ensaios em paredes construídas em BTC será objeto de estudo posterior.

## 2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 2.1 Construção dos provetes de ensaio

Para a realização dos ensaios cerca de 100 provetes cilíndricos com as dimensões de 70x140 mm foram concebidos. Os provetes foram produzidos com solo residual granítico (SRG) típico do norte de Portugal, recolhido da localidade de Louredo em Guimarães e as suas propriedades foram analisadas em termos de granulometria [16] limites de consistência [17], baridade seca máxima e teor ótimo em água [18]. O solo apresenta percentagem de finos insuficiente, especialmente no que diz respeito à argila, cuja percentagem é de cerca de 4%. De uma percentagem de argila tão baixa espera-se problemas no processo de fabrico, nomeadamente na obtenção de uma coesão inicial dos BTC para a sua desmoldagem e manuseamento imediatos. O valor obtido para o teor ótimo em água foi de cerca de 12% e para a baridade seca máxima foi de cerca de 1,71 g/cm<sup>3</sup>, o que também indica que os BTC fabricados com o solo natural poderão apresentar resistência mecânica insuficiente. Assim, verifica-se a inadequabilidade do SRG recolhido para o fabrico de BTC no seu estado natural, pelo que estabilização química é necessária. A estabilização do solo foi feita com cal e cimento [19], ver Figura 1.



Figura 1: Execução dos provetes cilíndricos.

### 2.2 Procedimento dos ensaios à compressão

O programa experimental foi dividido em duas partes. Na primeira fase de ensaios, os provetes foram divididos em 5 percentagens diferentes de estabilizantes, cal e cimento. Para cada composição foram utilizadas 18 amostras, sendo ensaiadas 3 amostras de cada composição por diferentes patamares de temperatura. No Quadro 1 estão identificadas as diferentes composições e no quadro 2 os diferentes patamares de temperatura ensaiados, o primeiro patamar P0 é referente à temperatura ambiente [14].

Quadro 5: Composição de cada mistura estudada em (%)

Amostra	Solo	Cal	Cimento
M1	90	5	5
M2	87.5	5	7.5
M3	87.5	7.5	5
M4	85	7.5	7.5
M5	80	10	10

Quadro 2: Patamares de temperatura de ensaio em (°C)

Identificação	Temperatura
P0	20
P1	100
P2	200
P3	400
P4	600
P5	800

Os ensaios foram realizados num forno fixado na base a uma máquina de ensaios universal, Instron® 4485, adaptada para funcionar à compressão, Figura 2. As temperaturas foram medidas com dois termopares. O primeiro termopar era utilizado para controlo e monitorização da temperatura da amostra, enquanto o segundo era posicionado na envolvente da amostra para medir a temperatura do ar dentro do forno, Figura 3. Um controlador PID foi utilizado para controlar o aumento e a temperatura pretendida da amostra, dando-se início ao ensaio 15 minutos após a obtenção da temperatura pretendida, com o objetivo de se obter toda a amostra à mesma temperatura.



Figura 2: Forno fixado na base do sistema de ensaios mecânicos da série Instron® 4485.

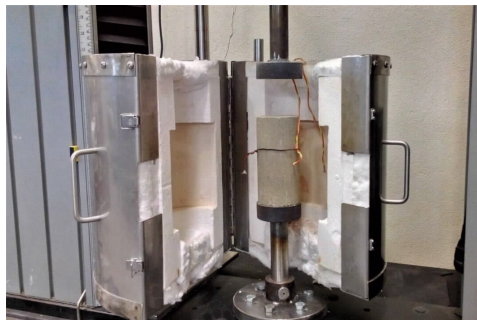


Figura 3: Localização dos termopares.

Na segunda fase de ensaios, designada por ensaios de compressão residual (ECR), foi analisado o comportamento mecânico à compressão do provete após exposição a temperaturas elevadas e deixado arrefecer naturalmente durante 24 horas até atingir a temperatura ambiente. Para estes ensaios apenas foram usados provetes com a composição “M2” uma vez que foi a composição que obteve os melhores resultados nos ensaios de resistência termomecânica em regime estacionário. Os provetes são sujeitos às temperaturas identificadas no Quadro 2.

### 3. RESULTADOS DOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Na Figura 4 são apresentados os resultados dos ensaios compressão residual da amostra M2. A amostra “M2” foi selecionada devido à obtenção dos melhores resultados na primeira fase de ensaios.

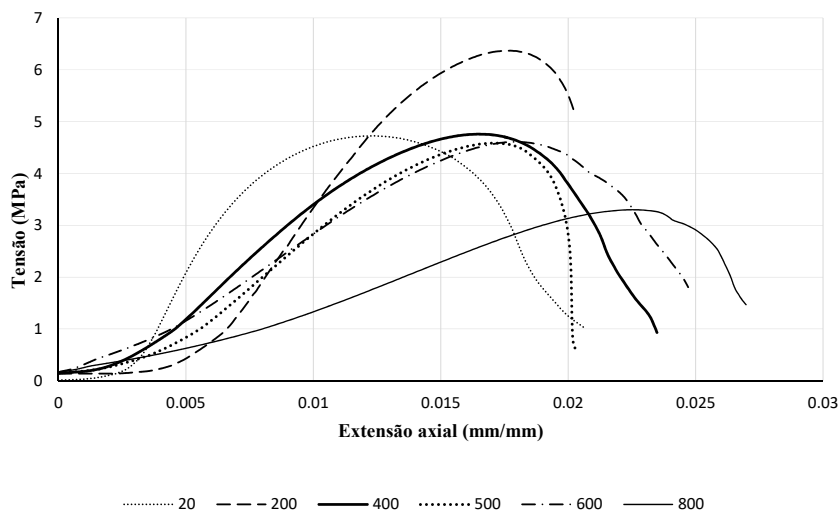


Figura 4: Relação tensão (MPa) versus extensão axial (mm/mm) para a amostra M2 para os ensaios de compressão residual.

Os ensaios compressão residual tiveram como principal objetivo demonstrar o comportamento mecânico da amostra M2 após uma situação de incêndio, ou seja, após ter sido submetida a elevadas temperaturas e deixada arrefecer e só então é que os provetes foram ensaiados.

No Quadro 3 são apresentados os valores da tensão máxima do ensaio de resistência termomecânica em regime estacionário e do ensaio de compressão residual da amostra M2. Nos ensaios de resistência termomecânica em regime estacionário os provetes obtiveram maior tensão de compressão entre 400°C e

600°C. Assim sendo foi realizado um ensaio adicional no ensaio de compressão residual no patamar de temperatura igual a 500°C.

Quadro 1: Tensão máxima à compressão em regime estacionário e tensão máxima de compressão residual (ECR) da amostra M2 (MPa)

Temperatura	M2	M2 (ECR)
20°C	4.864	4.864
100°C	4.369	---
200°C	5.018	6.638
400°C	8.011	4.758
500°C	---	4.583
600°C	7.149	4.608
800°C	5.986	3.300

Em comparação com os ensaios da primeira fase pode observar-se um melhor desempenho da amostra M2 quando submetida a 200°C. Após o patamar de temperatura de 400°C verifica-se um desempenho 50% menor, demonstrando a influência da temperatura na mudança da resistência do material após exposição a altas temperaturas e deixado arrefecer até à temperatura ambiente.

Os ensaios de compressão residual em comparação com os ensaios de resistência termomecânica em regime estacionário mostram que a exposição até aos 200°C traz um aumento da sua capacidade resistente à compressão após o arrefecimento da amostra. Porém acima desta temperatura a resistência mecânica dos provetes altera e o seu desempenho e a resistência à compressão diminuiu, como se pode verificar nos ensaios de compressão residual.

Em resumo, observa-se que os provetes apresentam uma resistência antes de serem submetidos a altas temperaturas diferente da resistência obtida quando submetidos a temperaturas elevadas e ensaiados à compressão. A sua resistência à compressão acima dos 600°C diminui. Mas quando comparados com os provetes sujeitos a temperaturas elevadas e deixados arrefecer, a partir de 200°C a sua resistência diminui. Também se verifica uma alteração da cor das amostras quando expostas a estes níveis de temperatura. Revela-se de extrema importância o estudo dos ensaios de compressão dos BTC bem como o seu comportamento em caso de incêndio.

#### **4. CONCLUSÕES**

O trabalho desenvolvido permitiu analisar e avaliar o comportamento do BTC e a sua resistência para diferentes percentagens de estabilizantes quando submetidos a diferentes temperaturas. Foi possível concluir que a composição M2 com 5.0% de cal e 7.5% de cimento apresenta uma resistência próxima da composição M5 com 10% de cal e 10% de cimento, sendo a M2 a melhor escolha devido à menor quantidade de estabilizantes, é uma solução mais económica e mais sustentável.

Nos ensaios de resistência termomecânica em regime estacionário, para diferentes patamares de temperatura, concluiu-se que o BTC se comporta, em geral, de uma forma melhor até uma temperatura de 400°C, atingindo o valor máximo da sua resistência.

Nos ensaios de compressão residual, os provetes são submetidos a altas temperaturas e só após 24 horas é realizado o ensaio de compressão. A amostra M2 tem uma perda significativa da resistência a partir de 200°C, demonstrando que em caso de incêndio ou exposição a altas temperaturas, é necessário tomar precaução e realizar um reforço na alvenaria devido a modificações negativas que os materiais sofrem após voltarem à temperatura ambiente causando uma perda de resistência no BTC. Por exemplo, no ensaio de compressão residual da amostra M2, obteve-se uma resistência de rotura próxima 4.7 MPa, porém, no ensaio realizado

enquanto a amostra estava submetida a 400°C, a sua resistência foi de aproximadamente 8.0 MPa, um valor bastante inferior.

A principal preocupação dos órgãos normativos com a ocorrência de incêndio não está ligada ao interesse de preservar o património, mas sim de garantir que a estrutura permaneça com sua capacidade portante preservada, por um período de tempo considerado suficiente para garantir o combate ao incêndio e a total evacuação das pessoas. Em suma, pode-se afirmar que o BTC obteve um aumento da resistência quando submetido a temperaturas maiores que 400°C, dando a segurança necessária em caso de incêndios.

Através dos resultados de resistência à compressão atingida em blocos de terra comprimida antes, durante e após o incêndio, consegue-se perceber o comportamento de estruturas em BTC quando sujeitas a situações, aumentando assim a segurança das pessoas e dos bens. Também foi possível analisar a melhor composição e quantidade de estabilizante com o intuito de colocar a economia e a sustentabilidade em primeiro lugar.

## REFERÊNCIAS

- [1] Varum, H.; Velosa A. – *Caracterização do adobe em construções existentes na região de Aveiro*. Seminário Ibero-Americano de construção em terra, 2005.
- [2] Houben, H. e Guillaud, H. – *Earth Construction: A Comprehensive Guide, CRATerre – EAG*. Intermediate Technology Publication, London, 2008. ISBN 978-1-85339-193-4.
- [3] Pacheco-Torgal, F. e Jalali, S. – *Earth construction: lessons from the past for future eco-efficient construction*. Construction and Building Materials, 29, 2012, p. 512-519.
- [4] Gomes, I. – *Construção sísmo-resistente em terra crua*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2008.
- [5] NZS 4297: New Zealand Standard – *Engineering design of earth buildings*, 1998.
- [6] NZS 4297: New Zealand Standard – *Materials and workmanship for earth buildings*, 1998.
- [7] NZS 4297: New Zealand Standard – *Earth buildings not requiring specific design*, 1998.
- [8] UNE 41410: AENOR – *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques – Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo*, 2008.
- [9] Standards Australia, HB 195 – *The Australian earth building handbook*, Walker, P. and Standards Australia. Austrália. 2002.
- [10] Cristelo, N., Glendinning, S., Fernandes, L., Teixeira Pinto, A. – *Effect of calcium content on soil stabilisation with alkaline activation*. Construction and Building Materials, 29, 2012a p. 167-174.
- [11] Cristelo, N.M., et al. – *Soil Stabilisation using Alkaline Activation of Fly Ash for Self Compacting Rammed Earth Construction*. Construction and Building Materials, 36, 2012b, p. 727-735.
- [12] Silva, R.A., et. al. – *Rammed earth construction with granitic residual soils: The case study of northern Portugal*. Construction and Building Materials, 47, 2013, p. 181-191.
- [13] Ferreira, D.M., et al. – *Behaviour of non-loadbearing tabique wall subjected to fire – Experimental and numerical analysis*. Journal of Building Engineering, 2017. 9: p. 164-176.
- [14] Edgar Soares, et al. – *Fire Behaviour of Compacted Earth Blocks*. REHABEND 2018. Euro-American Congress. Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management, 15-18 May, Caceres, Spain, 2018.
- [15] Lima, D.P.d. – *Ensaio de resistência termomecânica em regime estacionário em Bloco de terra compactada (BTC)*, tese de mestrado em Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Bragança, 2017.
- [16] LNEC E196: *Análise granulométrica*, LNEC 1996.
- [17] NP 143 – *Solos: determinação dos limites de consistência*. LNEC 1969.
- [18] LNEC E 197: *Ensaio de compactação*, LNEC 1997.
- [19] Silva, R. A., et al. – *Caraterização do comportamento ao corte de alvenaria de blocos de terra compactada com junta seca*. 9º Congresso Nacional de Mecânica Experimental Aveiro, 15-17 de Outubro, 2014.

## **Índice de Autores**

Alexandra Ribeiro	351
Alexandre Ribeiro	233
Amarildo Benzane	311
Ana Ferreira	351
Ana Matias	359
Ana Sousa	11,169
André Rodrigues	3
Ângela Santos	243
António Correia	301,321,331,351
António Júnior	137
António L. Coelho	35,261
António Leiras	19,225
Armando Afonso	187
Bernardo Monteiro	157
Bruno Alfredo	127
Carla Rodrigues	187
Carlos Balsa	145
Carlos Costa	157
Carlos Couto	101
Carolina Conceição	291
Collete Pereira	341
Cristina Santos	269
Davi Lucas	3
Débora Ferreira	59
Débora Ferreira	65
Diego Rossetto	127
Diogo Lima	59
Domingos Viegas	3
Edgar Soares	59
Eduarda Luso	65
Eduarda Nepomuceno	65
Elza Fonseca	109
Fernando Miranda	109
Flávio Arrais	119
Gerson Santos	83
Hadassa Lima	281
Hugo Caetano	179
Isis Kroeff	195
João P. Rodrigues	19,27,43,75,91,137,179,225,247,311
João Pereira	75,91

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos*  
*1as Jornadas de Proteção Civil*  
*Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

João Pereira	301
João Viegas	157
Joaquim Almeida	137
Jorge Azevedo	101
Jorge Goes	109
Jorge Pereira	207,217
José Correia	301
José Domingues	35
José Franco	195
José Gaspar	207
José Góis	281,341
José Martinho	331
Karina Oliveira	195
Leitão Dinis	59
Lino Marques	291
Lucas Alves	195
Lucas Ferle	83
Lucas Prates	145
Luís Laím	311
Luís Mesquita	49,59,83
Luís Ribeiro	3
Luís Santos	321,331
Lurdes Cruz	65
Marcelo Porto	195
Margarida Queirós	243
Marta Ribeiro	247
Miguel Almeida	281
Nádia Farinha	269
Nuno Lopes	101,119
Paulo Carvalho	331
Paulo Coelho	321
Paulo Pereira	157
Paulo Piloto	127,145
Paulo Ramos	27,43
Paulo Vila Real	101,119
Pedro Tavares	301
Rafael Oliveira	75,91
Renata Baracho	195
Ronaldo Rigobello	145
Susana Meneses	351
Thiago Alves	49
Thiago Oliveira	49

*6as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos  
1as Jornadas de Proteção Civil  
Universidade de Coimbra- Portugal – 29 e 30 de novembro de 2018*

Tiago Ferreira	35,261
Tiago Marinho	217
Tiago Miranda	59
Tiago Ribeiro	11,169
Verónica Catarino	217

ORGANIZAÇÃO:



CO - ORGANIZAÇÃO:



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA



Fotografia de Nelson Ferreira Fernandes, 15 de outubro de 2017