

## CODE 2.2

### COMPORTAMENTO AO FOGO DE BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA

**PALABRAS CHAVE:** BTC, bloco de terra comprimida, resistência ao fogo

#### RESUMO

A principal preocupação dos documentos normativos com a ocorrência de incêndio não está ligada ao interesse de preservar o património, mas sim ao de garantir que a estrutura permaneça com capacidade portante preservada por um período de tempo considerado necessário para assegurar a completa evacuação das pessoas e o combate ao incêndio.

O trabalho desenvolvido é sobre a segurança das construções em Bloco de Terra Compactada (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.

É igualmente objetivo deste trabalho compreender a influência dos estabilizadores, responsáveis pelo aumento da resistência dos BTC, através de ensaios de resistência termomecânica em regime estacionário. Para tal foram analisadas 5 percentagens de estabilizantes, entre cal e cimento, obtendo-se diferentes respostas do comportamento do material sob a ação do fogo.

O melhor desempenho foi obtido para a composição com maior quantidade de estabilizantes, com 10% de cal e 10% de cimento. Contudo, a composição com 5.0% de cal e 7.5% de cimento apresentou uma resistência próxima da anterior, sendo que esta composição constitui uma melhor escolha devido à menor quantidade de estabilizantes, sendo mais económica e mais sustentável.

#### 1. INTRODUÇÃO

A construção em terra está presente em todo o mundo. Além das inúmeras vantagens a nível social, económicas e ambientais, é considerado um método construtivo sustentável [1]. Considera-se que a sustentabilidade do planeta se traduz na procura e utilização de materiais e técnicas construtivas mais adaptadas ao ambiente, representando assim uma diminuição do consumo de recursos, aumentando a construção em terra e o interesse nos estudos sobre os materiais contidos neste tipo de construção [2].

As técnicas de construção em terra são inúmeras e variam de região para região, conforme as características do solo e da temperatura do local. Em Portugal, as mais comuns são: a taipa, o tabique, a alvenaria de adobe e mais recentemente a alvenaria de blocos de terra compactada (BTC) [1]. Os

blocos de terra compactada decorrem de um rigoroso controlo de produção, apresentando valores de resistência mais elevados comparativamente às outras técnicas enumeradas e são facilmente adaptáveis às necessidades técnicas e à arquitetura de cada local, podendo ser utilizados como elementos estruturais ou apenas como elementos de enchimento [2].

Os BTC são incombustíveis, não exalando gases tóxicos, pelo que os produtos da combustão não são prejudiciais à saúde humana. Adicionalmente, os BTC são baixos condutores de calor (possuem baixa condutividade térmica à temperatura ambiente) quando comparados com os metais. Estas características concedem ao BTC uma boa resistência ao fogo. Contudo, a deterioração do BTC, ao ser sujeito a temperaturas elevadas, manifesta-se de forma ainda desconhecida, modificando o seu comportamento em função do estabilizante contido na sua composição. O aquecimento do BTC conduz à degradação diferencial afetando as propriedades mecânicas por meio da redução e mudança na resistência e no módulo de elasticidade dos materiais conforme a temperatura exposta. Há perda de rigidez da estrutura podendo levar os elementos estruturais ao colapso, tanto na fase de aquecimento quanto na fase de arrefecimento [3].

Para colocar em prática a implementação de novas técnicas e tecnologias cada vez mais eficientes e eficazes, é necessária a exigência de empenho e dedicação constante na atualização dos conhecimentos que envolvem novos processos construtivos. O desenvolvimento da investigação foca-se essencialmente na segurança, analisando o comportamento mecânico do BTC. Atualmente presume-se que aproximadamente metade da população mundial habite em edifícios construídos em terra [4], daí a necessidade de estudos detalhados sobre este “novo” material de construção.

Com o trabalho desenvolvido pretende dar-se um contributo na compreensão do comportamento do BTC submetido a ensaio de compressão sob ação do fogo. Dada a falta de investigação nesta área, pretende-se contribuir com novos elementos que ajudem a compreender e analisar a resistência termomecânica em regime estacionário do BTC, com o objetivo de avaliar a sua resistência à compressão sob o efeito do aumento de temperatura, para diferentes percentagens de estabilizantes, entre cal e cimento [5, 6]. A principal preocupação 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 a total evacuação das pessoas. Com este estudo espera-se contribuir para o conhecimento do comportamento de estruturas em BTC quando sujeitas a situações de incêndio.

Assim, e com o objetivo de dar resposta à necessidade de estudar e caracterizar a construção em BTC, a Universidade do Minho e o Instituto Politécnico de Bragança (IPB) têm desenvolvido vários projetos nesse sentido, desde a caracterização do bloco, ao estudo das formas de estabilização, passando pela caracterização térmica e acústica do BTC como a resistência mecânica sob a ação ao fogo [7].

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Estruturas e Resistência dos Materiais do IPB. A construção dos cilindros de BTC e respetiva cura foram realizadas no laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho. São analisadas 5 amostras com percentagens distintas de estabilizantes, cal e cimento, em relação a diferentes temperaturas, em que, para além de comparar os seus comportamentos, se pretende compreender a influência dos estabilizadores e da temperatura na resistência mecânica do BTC.

## **2. PREPARAÇÃO DOS PROVETES**

### **2.1 Composição do BTC**

Os principais componentes para a constituição dos BTC são a terra, a água e eventualmente um estabilizador que pode ser químico, físico ou biológico. No caso dos BTC em estudo neste trabalho, utilizou-se solo residual granítico da região do Minho, localizado no Norte de Portugal, água e cal/cimento em diferentes percentagens para a estabilização do solo.

As diferentes percentagens de materiais para o fabrico dos cilindros utilizados nos ensaios de resistência de termomecânica à compressão encontram-se identificadas na Tabela 1, sendo a quantidade de água variável para cada tipo de composição. De acordo com a quantidade de estabilizadores foram identificadas 5 amostras.

Tabela 1 - Composição da fração sólida, em percentagem, de cada mistura estudada.

Amostra	Solo (%)	Cal (%)	Cimento (%)
M1	90.0	5.0	5.0
M2	87.5	5.0	7.5
M3	87.5	7.5	5.0
M4	85.0	7.5	7.5
M5	80.0	10.0	10.0

As características físicas médias dos provetes como sejam altura, diâmetro, peso e volume estão apresentadas na Tabela 2. Todos os provetes foram fabricados de forma a apresentarem as mesmas dimensões. Porém, devido à dilatação de alguns materiais, os provetes foram pesados e medidos antes do respetivo ensaio.

Tabela 2 - Características físicas médias dos provetes de BTC.

Altura (mm)	140
Diâmetro (mm)	70
Volume (cm <sup>3</sup> )	538.78
Peso dos sólidos (g)	969.59
Peso volúmico (g/cm <sup>3</sup> )	1.80

## 2.2 Fabrico dos BTC's

Depois de definidas as composições e quantidades dos materiais, foi realizado o processo de fabrico dos BTC. Para a realização dos ensaios foram produzidos cerca de 100 provetes cilíndricos de BTC com 70 mm de diâmetro e 140 mm de altura.

Para a preparação do solo foi necessário primeiro realizar o processo de destorroamento manualmente. Seguidamente, o solo foi espalhado num local ao ar livre. Quando o solo apresentou um aspeto seco e mais claro foi recolhido e armazenado no laboratório. A seguir à preparação do solo, foi realizada a pesagem dos 3 constituintes da mistura para os BTC: solo, cal e do cimento.

A primeira etapa foi a mistura dos materiais sólidos, ou seja da terra, cal e cimento. Com a ajuda da misturadora foram colocados todos os materiais cerca de 5 minutos, até se alcançar uma mistura homogénea. A água foi adicionada em quantidade necessária para alcançar a homogeneidade. A mistura pesada foi colocada dentro do molde da prensa. A mistura teve que ser espalhada e nivelada manualmente antes de se fechar o molde de modo a comprimir a mistura e assim formar os provetes. Por último, os provetes foram cuidadosamente retirados da prensa e colocados sobre uma base plana, para facilitar o transporte enquanto estão frescos. Os provetes estiveram durante uma semana a ganhar resistência para depois poderem ser empilhados, continuando assim o processo de cura até o ensaio.

Os provetes foram ensaiados para 6 patamares diferentes temperaturas, ver Tabela 3. O patamar de temperatura P0 é identificado como a temperatura ambiente.

Tabela 3 - Patamares de temperatura dos ensaios.

Patamar	Temperatura (°C)
P0	20
P1	100
P2	200
P3	400
P4	600
P5	800

### 3. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

#### 3.1 Equipamento de ensaio

Os ensaios foram realizados num forno fixado na base a uma máquina de ensaios universal, Instron® 4485, adaptada para funcionar à compressão, Figura 1. De acordo com a temperatura que cada provete deve alcançar, o aumento da temperatura era acompanhado graficamente até a mesma ficar constante durante 10 minutos, só então era dado início ao ensaio de compressão. As temperaturas foram medidas com dois termopares. O primeiro termopar era fixado na amostra, com o objetivo de medir a temperatura no provete e controlar o sistema PID de controlo da temperatura, enquanto o segundo era deixado solto dentro do forno de modo que não tocasse em nenhuma superfície, para medir a temperatura dentro do forno, Figura 2.



Figura 1: Forno fixado na base do Sistema de ensaios mecânicos da série Instron® 4485.

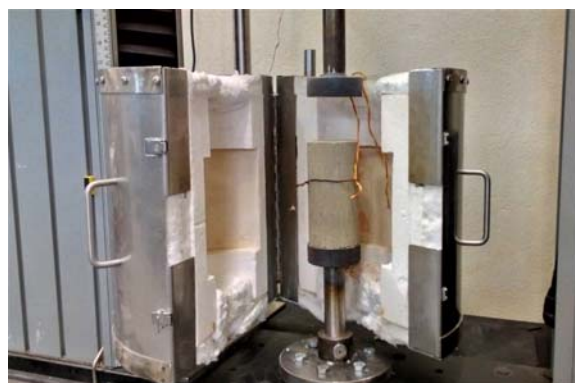


Figura 2: Localização dos termopares.

#### 3.2 Ensaios experimentais dos provetes de BTC

Antes do ensaio os provetes são pesados e medidos. As temperaturas do forno e dos provetes foram controladas até ao fim do ensaio. Com a velocidade constante de ensaio fixada em 0.06 mm/s até à rotura dos provetes, foi possível observar a tensão máxima de rotura, assim como o comportamento da amostra após a rotura.

Quando o provete atingia a rotura, significava que o ensaio havia terminado sendo possível ver a rotura da amostra, Figura 3.



Figura 3: Provete após rotura e abertura do forno.

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

No estudo dos blocos, as principais propriedades mecânicas são a resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, sendo a resistência à compressão do bloco o principal parâmetro de dimensionamento da alvenaria e, por isso, esta propriedade é a principal variável do controle de qualidade dos blocos, estando diretamente relacionado com o desempenho das paredes de uma edificação [8].

Na Figura 4 são apresentados os resultados tensão-extensão para os patamares de temperatura considerados. A seguir serão analisadas a resistência à compressão, onde será verificado qual a melhor percentagem de cal e cimento para se obter uma maior resistência do BTC.

Nos provetes à temperatura ambiente foi obtida uma resistência entre 3 e 5 MPa, indicando um aumento significativo na resistência devido aos estabilizantes. A resistência à compressão numa estrutura de terra varia entre 0.5 e 2.0 MPa e a resistência à tração é cerca de 20% da resistência à compressão [9].

A composição que teve menor resistência à temperatura ambiente foi a M3, demonstrando que a quantidade de cal influencia a resistência do cimento, neste caso de forma negativa, resultando que a amostra M3 com 2,5% de cal a mais, porém com a mesma quantidade de cimento que a composição M1, obteve menor resistência. A adição de cimento no solo provoca aglomeração das partículas e torna a argila mais estável, já a adição de cal permite a dissolução de minerais argilosos [10].

Analisando as duas amostras que obtiveram melhores resultados e comportamento parecidos, M5 (10% de cal e 10% de cimento) e M2 (5% de cal e 7.5% de cimento), a amostra M2 apesar de 7,5% a menos de estabilizantes na sua composição, a sua resistência foi maior. Em termos económicos e da sustentabilidade do material, a quantidade de estabilizantes é importante na fabricação dos BTC.

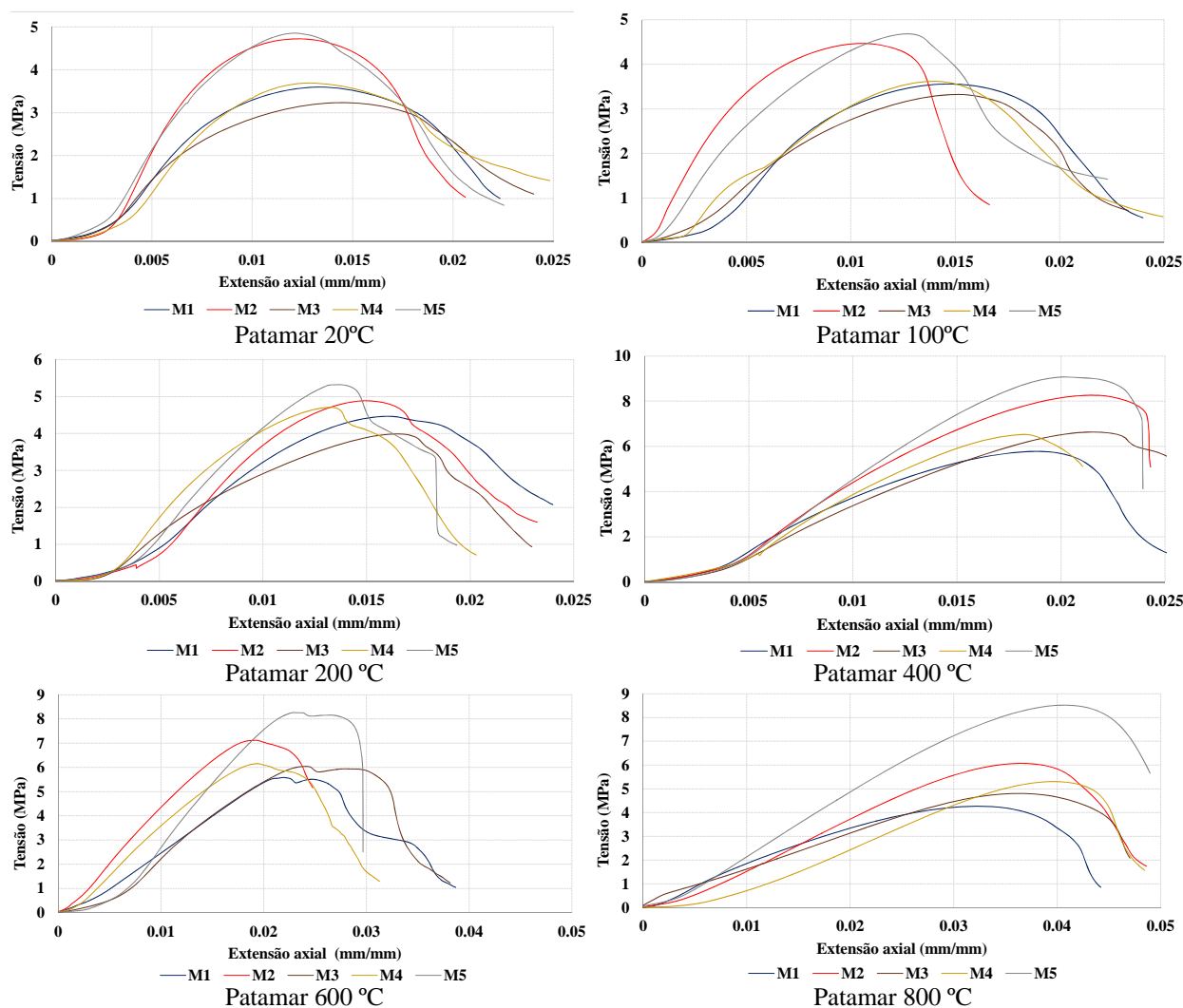


Figura 4: Relação tensão (MPa) versus extensão axial (mm/mm).

## 5. 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. Assim, apesar de já esperado, o melhor desempenho foi obtido na composição M5, constituída pela maior quantidade de estabilizantes. 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 quando submetido a 400°C, atingindo uma maior resistência.

Em conclusão, 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.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Ferreira, D. M.; Araújo, A., *et al.* - "Behaviour of non-loadbearing tabique wall subjected to fire – Experimental and numerical analysis," *Journal of Building Engineering*, vol. 9, pp. 164-176, 1// 2017.

- [2] Oliveira, J. V. - "Comportamento mecânico de blocos de terra compactada ativada alcalinamente," Mestrado Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2014.
- [3] D. Thê-Nguyen, F. M. - "Behaviour of hollow clay brick masonry walls during fire. Part2: 3d finite element modeling and spalling assessment," *Fire Saf. J*, vol. 66, pp. 35-45, 2014.
- [4] Gomes, M. I. d. S. - " Conservação de construções de taipa: argamassas de reparação," Doutorado, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa, 2013.
- [5] Rui Silva, E. S., Daniel Oliveira, Tiago Miranda, Nuno Cristelo, Dinis Leitão - "Mechanical characterisation of dry-stack masonry made of CEBs stabilised with alkaline activation," *Construction and Building Materials - Elsevier*, vol. 75, pp. 349-358, 2015.
- [6] Thomas Sturm, L. R., Paulo B. Lourenc,o - "Characterization of dry-stack interlocking compressed earth blocks," *Materials and Structures*, vol. 48, pp. 3059-3074, 2015.
- [7] Lima, D. P. d. - "Ensaio de resistência termomecânica em regime estacionário em Bloco de terra compactada (BTC)," Mestrado Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Bragança, 2017.
- [8] Márcia Souza, A. S., Joelma Pereira - "Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto," *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* vol. 12, pp. 205-212, 2007.
- [9] Humberto Varum, T. M., Ana Velosa - "Caracterização do adobe em construções existentes na região de Aveiro," presented at the Seminário Ibero-Americano de construção em terra, 2005.
- [10] Rigassi, V., *Compressed earth block: manual of production* vol. 1: A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, 1985.