

## **8JORNINC-3JORPROCIV**

8as Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos  
e as 3as Jornadas de Proteção Civil  
Porto, 1 e 2 de junho 2023

# **LIVRO DE ATAS**

**isep** Instituto Superior de  
**Engenharia** do Porto

**P.PORTO**

## **CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE PROVETES DE GRANITO SUJEITOS A TEMPERATURAS ELEVADAS**

Débora Macanjo  
Ferreira \*  
Professor  
IPB - Bragança

Luiz Felipe Pires  
Fontes  
Estudante  
IPB - Bragança

Graça Vasconcelos  
Professora  
UM - Guimarães

Edna Alves Oliveira  
Professor  
FUMEC - Brasil

Luís Mesquita  
Professor  
IPB - Bragança

### **SUMÁRIO**

O aumento da temperatura média na superfície da terra pode trazer diversas e complexas consequências ao meio ambiente, além de danos irreversíveis para a humanidade. Um dos efeitos diretos é o aumento do número de incêndios rurais, que possuem um elevado potencial de destruição não só para a fauna e a flora do local, mas também para o património vernáculo constituído. Estas construções rurais merecem ser cuidadosamente salvaguardadas pois constituem a união entre o património natural e o património cultural. Os efeitos causados pelos incêndios nestas construções resultam na sua elevada destruição bem como na destruição do seu legado histórico. O principal objetivo do presente trabalho foi avaliar o comportamento mecânico de alvenarias de pedra de granito, quando submetidas a temperaturas elevadas que podem resultar da ocorrência de incêndios e os resultados obtidos permitiram concluir que a sua resistência mecânica residual é influenciada pelas temperaturas elevadas bem como pelo modo de arrefecimento utilizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Construção vernácula, granito; incêndio; resistência à compressão.

### **1. INTRODUÇÃO**

Desde o início da civilização, a alvenaria de pedra assumiu um papel preponderante na construção de edifícios devido à grande disponibilidade da pedra como recurso natural e à simplicidade construtiva. As primeiras construções em alvenaria de pedra foram os abrigos, com um sistema construtivo muito simples com pedras de diferentes dimensões colocadas umas sobre as outras. A superfície rugosa de contacto entre as pedras garantia a estabilidade global das paredes.

A alvenaria de pedra é o material de construção mais antigo que sobreviveu até aos dias de hoje, sendo utilizado em todo o mundo e está presente nas edificações históricas mais

---

\*Débora Macanjo Ferreira – Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Campus de Santa Apolónia - 5300-253 BRAGANÇA, Portugal, email: debora@ipb.pt <http://www.ipb.pt>

impressionantes. As construções vernáculas são maioritariamente compostas por alvenaria de pedra de junta seca, alvenaria de pedra com argamassa de cal ou alvenaria de pedra com argamassa à base de terra. A conservação, reabilitação e o reforço do património edificado e a proteção de vidas humanas são exigências claras da sociedade moderna. Isso requer a identificação das deficiências das estruturas existentes e técnicas de intervenção [1].

A pedra é um componente essencial de praticamente todos os edifícios históricos e está, no entanto, longe de ser um material imutável, pois pode sofrer danos severos devido a vários agentes de degradação. O fogo destaca-se como agente de degradação por gerar danos irreversíveis na pedra, com efeitos duradouros, num período de tempo muito curto. Estudar o impacto do fogo na pedra é de grande importância. O fogo pode causar um declínio significativo na resistência da pedra, levar à perda de material da superfície e pode comprometer a integridade estrutural de um edifício. Além disso, as alterações de superfície podem levar à perda dos valores estéticos da pedra, particularmente importante quando esta é usada como ornamento de um monumento ou uma escultura [2]. Existem estudos sobre os efeitos do fogo e das temperaturas relacionadas com o fogo em materiais como o betão [3–5] e as argamassas [6] mas há pouca investigação sobre este aspeto nas pedras naturais [7-9].

Em Portugal, a utilização de construções de alvenaria de pedra é predominante a Norte e centro do país, onde grande parte das construções vernáculas mais antigas em meios rurais e centros urbanos são construídos neste material. Os principais tipos de pedra utilizados nas alvenarias são o granito, o calcário e o arenito. A utilização predominante de cada tipo de pedra está relacionada com a sua disponibilidade. A Norte de Portugal predomina o granito, enquanto no centro e em algumas zonas litorais predomina o calcário.

O presente trabalho avaliou o comportamento mecânico de alvenarias de pedra, em particular pedra de granito, quando submetidas a temperaturas elevadas que podem resultar da ocorrência de incêndios. Para este efeito, foram ensaiados provetes de granito provenientes da região norte de Portugal, nomeadamente granito da Póvoa de Lanhoso, granito de Ponte de Lima e granito de Mondim de Basto.

## **2. TRABALHO EXPERIMENTAL**

No trabalho experimental desenvolvido foram usados blocos de granitos com dimensões de 70×70×70 [mm], [10]. A designação adotada para os provetes provém de sua localização e cor, ver Quadro 1. Os provetes foram submetidos a dois patamares de temperaturas, 400 °C e 800 °C, com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, até atingirem a temperatura desejada. A temperatura máxima foi mantida constante durante 2 horas para garantir uma temperatura uniforme em todo o bloco, [11]. Para o controle da temperatura foram introduzidos termopares no interior dos provetes, Figura 1.

Quadro 1: Designação adotada para os provetes de granito

Localização do granito	Cor dos granitos	Designação adoptada
Póvoa de Lanhoso	Azul	PLA
	amarelo	PLM
Ponte de Lima	Azul	PTA
	amarelo	PTM
Mondim de Basto	Azul	MDA
	amarelo	MDM



Figura 1: Provetes no forno de aquecimento

De seguida, os provetes foram submetidos a dois processos de arrefecimento: metades foram arrefecidos à temperatura ambiente e a outra metade foi sujeita a um arrefecimento rápido, submergidos em água fria, Figura 2. A resistência mecânica residual, dos provetes expostos a temperaturas elevadas, foi caracterizada através de ensaios à compressão e comparada com a resistência de provetes de granito não exposto a temperaturas elevadas, de acordo com a norma EN 1926:2008 [12], Figura 3.

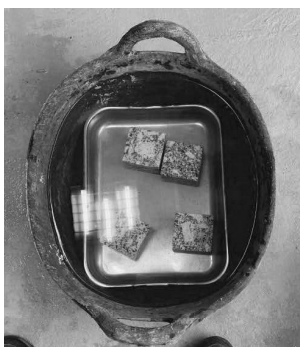


Figura 2: Arrefecimento rápido



Figura 3: Ensaios de compressão

### 3. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Os valores médios de resistência à compressão para os provetes submetidos a 400 e 800 °C, arrefecidos de forma gradual (arref\_gradual) à temperatura ambiente e arrefecidos de forma rápida (arref\_rápida) são apresentados no Quadro 2. Como referência foram ensaiados provetes sem estarem expostos a temperaturas elevadas.

Quadro 2: Valores médios de resistência à compressão [MPa]

Provetes	20 °C	400 °C	400 °C	800 °C	800 °C
		Arref_gradual	Arref_rápido	Arref_gradual	Arref_rápido
PTA	148,77	144,02	-	-	desfez
PTM	44,05	65,06	44,92	8,68	1,90
MDB	51,66	58,57	-	8,97	5,80
MDM	30,50	-	-	6,35	-
PLM	122,16	112,00	62,02	34,96	28,43
PLA	152,35	-	-	35,87	-

O granito do tipo PTA exposto a temperatura de 800 °C apresentou um dano elevado quer para arrefecimento gradual e quer para o arrefecimento rápido e não foi possível efetuar os ensaios de compressão. Os granitos submetidos ao patamar dos 400 °C não apresentaram fissuração aparente que indique o comprometimento estrutural.

### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir que a resistência à compressão da pedra de granito é influenciada pelo modo de arrefecimento utilizado bem como pelas elevadas temperaturas a que o granito foi exposto. Nos provetes exposto a 400 °C e arrefecidos bruscamente notou-se uma diminuição da sua resistência em comparação com os provetes arrefecidos naturalmente. O impacto do choque térmico foi muito significativo nos provetes expostos a 800 °C, resultando numa resistência à compressão próxima de zero.

Os diferentes modos de arrefecimento mostraram a importância de se estudar os incêndios em construções feitas de alvenaria de pedra, uma vez que o modo como o granito é arrefecido pode ser extremamente prejudicial para o comportamento da pedra e influencia a sua resistência mecânica. Considera-se necessária uma maior atenção no combate aos incêndios de construções históricas, podendo prejudicar a estrutura pela falta de informação técnica.

### REFERÊNCIAS

[1] Vasconcelos, G. - Experimental investigations on the mechanics of stone masonry: Characterization of granites and behavior of ancient masonry shear walls, Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, 2005, p. 276.

- [2] Gomes-Heras M., McCabe S., Smith B., Fort, R. - Impacts of Fire on Stone-Built Heritage, *Journal of Architectural Conservation*, 2009, p. 48-58.
- [3] Seleem, H.E., Alaa M.R., Tarek E. - Effect of elevated temperature on physicochemical properties of blended cement concrete, *Construction and Building Materials*, vol. 25, no 2, 2011, p. 1009–1017.
- [4] Mydin M.A.O., Wang Y.C. - Mechanical properties of foamed concrete exposed to high temperatures, *Construction and Building Materials*, vol. 26, no 1, 2012, p. 638–654.
- [5] Noumowe A.N., Siddique R., Debicki G. - Permeability of high-performance concrete subjected to elevated temperature (600 °C), *Construction and Building Materials*, Vol 23, no 5, 2009, p. 1855–1861.
- [6] Serdar A. - Development of a high-temperature-resistant mortar by using slag and pumice, *Fire Safety Journal*, vol. 43, no. 8, 2008, p. 610–617.
- [7] S. Djaknoun, E. Ouedraogo, A.A. Benyahia, Characterisation of the behaviour of high-performance mortar subjected to high temperatures, *Construction and Building Materials*, vol. 28, no.1, 2012, p. 176–186.
- [8] Biró A., Hlavicka V., Lublóy E. - Effect of fire-related temperatures on natural stones, *Construction and Building Materials*, vol. 212, 2019, p. 92–101.
- [9] Chakrabarti, B., Yates T., Lewry A. – Effect of fire damage on natural stonework in building, *Construction and Building Materials*, vol.10, no 7, p. 539-544.
- [10] Fontes, L. - Comportamento físico e mecânico de blocos de granito submetidos a altas temperaturas, Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança, 2021, 99 p.
- [11] YANG, J. et al. - Mechanical property and thermal damage factor of limestone at high temperature, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 117, 2019, p. 11–19.
- [12] NP EN 1926:2008 – Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação da resistência à compressão uniaxial. Instituto Português da Qualidade, 2ª edição, 2008.