# O Forte de Nossa Senhora da Graça, Elvas

## *Bases para uma intervenção – a caracterização dos materiais*

**António Santos Silva** | Investigador auxiliar, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, DM/NMM | ssilva@lnec.pt
**Ana Rita Santos** | Bolseira de investigação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, DED/NRI | arsantos@lnec.pt
**Maria Rosário Veiga** | Investigadora principal com habilitação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, DED/NRI | rveiga@lnec.pt

***O Forte de Nossa Senhora da Graça localiza-se no Monte de Nossa Senhora da Graça, a norte da cidade de Elvas (figuras 1 e 2) [1][2]. É construído no final do século XVIII a mando de D. José I, classificado como Património Nacional em 1910 e como Património Mundial, pela UNESCO, em 2012.***
***Na construção do forte utilizaram-se pedras e terras sobrantes das minas abertas no maciço rochoso do monte, assim como outros materiais existentes nas proximidades do local da construção, tal como areia e material cerâmico [1][2].***
***No âmbito da sua nomeação pela UNESCO, em 2012, em conjunto com as restantes fortificações de Elvas, como Património Mundial, foi implementado um plano de conservação e restauro do Forte que envolve, entre outras atividades, uma caracterização detalhada dos materiais empregues na sua construção.***

### Programa de caracterização

Tendo como objetivo caracterizar globalmente os materiais utilizados, foram selecionadas e recolhidas amostras em diversos locais (figura 3), nomeadamente 11 amostras de argamassas de revestimento (R), uma amostra de argamassa de junta (J) e uma amostra do formigão (F).

Para determinar a constituição, composição, características e estado de conservação das várias argamassas foi definida uma metodologia de caraterização, desenvolvida no LNEC [4][5][6], que compreende a aplicação de várias técnicas de ensaio que se complementam, e que incluem: análise mineralógica por difração de raios X (DRX), análise termogravimétrica e térmica diferencial (ATG/ATD), análises químicas (AQ), análise microestrutural e caracterização física e mecânica (absorção de água por capilaridade e secagem, porosidade aberta e resistência à compressão).

### Resultados e apreciação

Dos resultados obtidos de caraterização, sintetizados na tabela 1 nas figuras 4 e 5, pode concluir-se que:

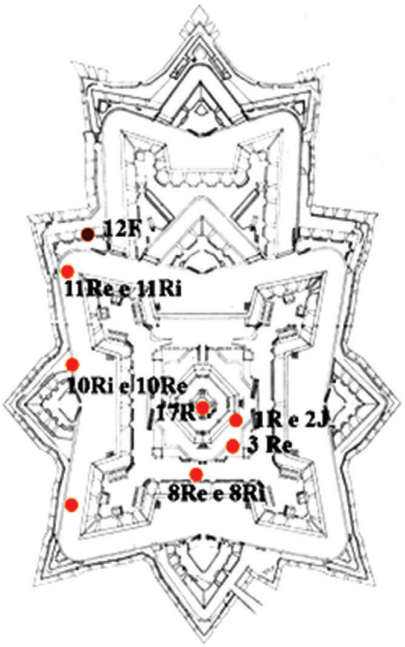
- As argamassas de reboco apresentam, em geral, boas características mecânicas e boa compacidade. São constituídas por cal aérea e areias provenientes de rochas de natureza ígnea (quartzo, feldspato e mica) e metamórfica (essencialmente xisto). A cal é maioritariamente dolomítica, embora no caso das argamassas 10RE e 10RI seja diferente, isto é, de natureza calcítica – figura 4.
- A amostra de formigão (12F) – taipa militar – é essencialmente constituída por areia de natureza ígnea, cal aérea dolomítica e terra argilosa. Apresenta valores de resistência

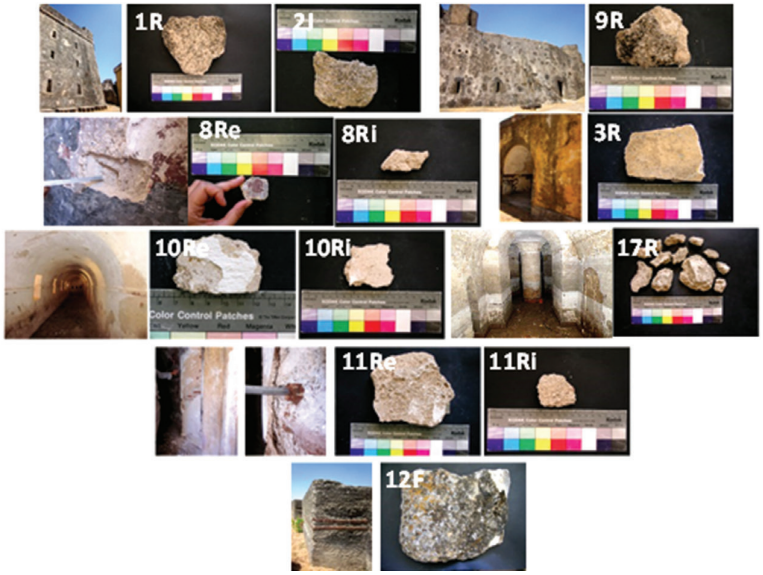
1 | *Vista aérea do Forte de Nossa Senhora da Graça [3].*

2 | *Portal de entrada do Forte.*

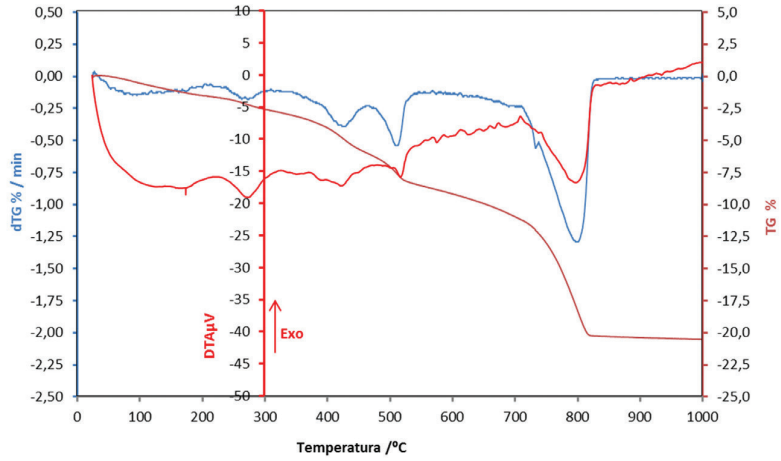
3 | *Localização dos locais de recolha das amostras.*

1 2

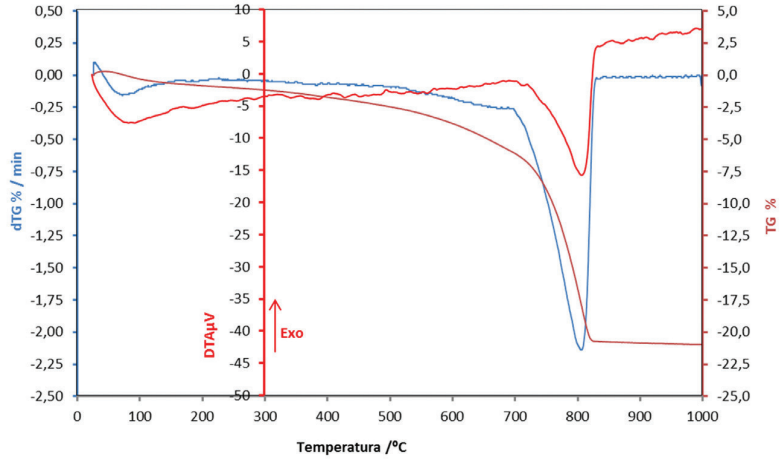



3



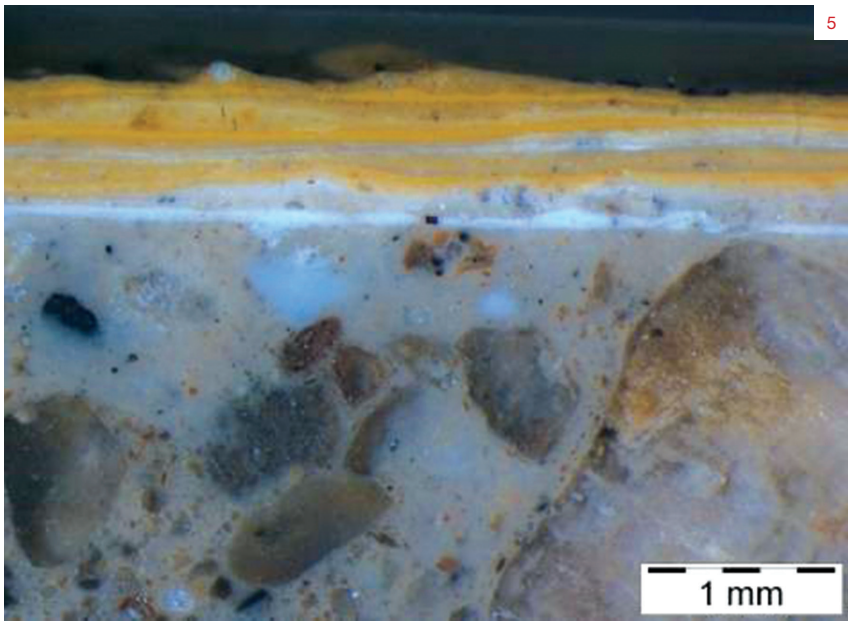

4a




4b

4 | *Curvas ATG/DTG/DTA característicos de argamassas de cal dolomítica (a) e calcítica (b).*

5 | *Observação em corte estratigráfico ao microscópio ótico em que é visível uma camada de pintura de cores entre o branco e o amarelo-ocre sobre uma argamassa de reboco de cor castanho-claro.*




5

**TABELA 1.** Resultados de ensaios físicos, mecânicos e da determinação do traço.

| Amostra | | | MV (kg/m³) | $CC_5$ (kg/(m².min$^{1/2}$)) | Sec. (dias) | Pa % | Rc (MPa) | Traço Ponderal cal:areia |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Argamassas | 1R | | 1750 | 0,3 | ≈ 3 | 29 | 1,6 | 1:4 |
| | 2J | | 1810 | 2,9⁺ | ≈ 1 | 28 | - | 1:10 |
| | 3R | 3Re | 1870 | 0,9 | ≈ 3 | 25 | 4,0 | 1:6 |
| | | 3Ri | - | - | - | - | - | 1:2 |
| | 8R | 8Re | 1960 | 2,2⁺ | ≈ 2 | 19 | - | 1:5 |
| | | 8Ri | 1930 | 5,5+ | ≈ 1 | 28 | - | 1:2 |
| | 9Re | | 1590 | 1,3 | > 15 | 32 | 1,1 | 1:6 |
| | 10R | 10Re | 1860 | - | - | 28 | - | 1:2 |
| | | 10Ri | 1910 | - | - | 26 | - | 1:2 |
| | 11R | 11R | 1800 | 0,5 | ≈ 2 | 29 | 0,8 | 1:3 |
| | | 11Ri | 1770 | 3, 6⁺ | ≈ 1 | 27 | - | 1:4 |
| | 17R | | 1700 | 1,6⁺ | ≈ 10 | 35 | 1,1 | 1:6 |
| Formigão | 12F | | 2090 | 1,0 | > 10 | 20 | 8,3 | 1:7 |

**MV:** Massa volúmica aparente; **$CC_5$:** Coeficiente de capilaridade por contacto aos 5 minutos; **Sec.:** Tempo de secagem; **Pa:** Porosidade aberta; **Rc:** Resistência à compressão

⁺ Valor determinado aos 2 minutos

mecânica muito elevados e coeficiente de capilaridade muito baixo, o que revela ter sido executada cuidadosamente e com qualidade técnica elevadas.

· Dado que o tipo de cal predominantemente utilizada foi de origem dolomítica, não é possível determinar com rigor a relação ponderal atual ligante:agregado das argamassas, uma vez que se desconhece a relação Ca/Mg desses calcários. No entanto, e tomando como aproximação que o calcário continha cerca de 95% de carbonato de cálcio, obtiveram-se as relações cal dolomítica hidratada:areia, em massa, indicadas na tabela 1.

· Verificou-se a presença de caiações de cor branca, creme, ou ocre amarelo, nas camadas de pintura mais antigas das argamassas – figura 5.

· À exceção da amostra 11R, constatou-se que as camadas de argamassa mais internas (I) apresentam um maior teor de ligante na sua composição, quando comparadas com as camadas de argamassa mais externas (E); tal pode dever-se à composição original ou então a lavagem do ligante ao longo do tempo.

· À exceção das amostras 2J, 8RE e 11RI, que apresentam coeficientes de capilaridade relativamente elevados, as restantes argamassas apresentam valores baixos de coeficiente de capilaridade, compatíveis com argamassas antigas de cal em bom estado de conservação [7], apenas com vestígios de colonizações biológicas.

## Conclusões

O Forte de Nossa Senhora da Graça, também denominado Forte *Conde de Lippe*, é considerado uma obra única e uma obra-prima da arquitetura militar europeia do século XVIII. Encontra-se atualmente classificado pela UNESCO como Património Mundial.

Os resultados dos ensaios realizados sobre as argamassas mostram que estas apresentam composições muito semelhantes em termos do tipo de ligante. As amostras de revestimentos são, na sua grande maioria, de cal dolomítica (apesar de apresentarem traços diferentes), à exceção das amostras 10RE e 10RI, extraídas das galerias, que são de natureza cálcica. Os agregados são provenientes essencialmente de rochas ígneas e metamórficas, abundantes na zona, confirmando o emprego de materiais de origem local. No formigão (12F) o agregado é essencialmente ígneo.

Apesar de existir alguma colonização biológica, não se detetaram outros sinais de degradação, nomeadamente não se identificaram teores significativos de produtos de degradação química. Por outro lado, os resultados dos ensaios físicos e mecânicos realizados comprovam que as argamassas estão em bom estado de conservação, o que atesta o cuidado colocado na boa escolha de materiais e de execução na construção do forte.

As pinturas mais antigas dos revestimentos (primeiras camadas de pintura junto ao reboco) são, em geral, caiações de cor branca, creme ou ocre amarelo. Estas cores, por razões defensivas, facilitavam a dissimulação pretendida dos fortes militares.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa IN SITU, Conservação de Bens Culturais, Lda. este trabalho, que tem também o apoio dos Projetos de Investigação e Inovação 2013-2020 do LNEC "PRESERVe – Preservação de revestimentos do Património construído com valor cultural" e "DUR-HERITAGE – Durabilidade e conservação de materiais com interesse histórico". ■

**BIBLIOGRAFIA**

1. Guerra, S. *O Forte de Nossa Senhora da Graça*. Monumentos, 28, 2008: p. 44-51.

2. Bucho, D. *Forte de Nossa Senhora da Graça/Forte de Lippe*. 1997. **http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=3771** (maio de 2014).

3. Ladeira, R.; Bucho, D. *Fort of Graça. Aerial view.* 2006. **http://whc.unesco.org/en/list/1367/gallery/** (maio de 2014).

4. Veiga, R., Aguiar, J., Santos Silva, A., Carvalho, F., *Methodologies for Characterization and Repair of Mortars of Ancient Buildings.* 3rd International Seminar Historical Constructions, Guimarães 2001: p. 353-362.

5. Santos Silva, A. *Caracterização de Argamassas Antigas: Casos Paradigmáticos.* Caderno de Edifícios n.º 2: Revestimentos de paredes em edifícios antigos, 2002: p. 87-101.

6. Santos Silva, A., Paiva, M. J. *Aplicação da Caracterização Mineralógica no estudo da Degradação de Argamassas Antigas.* Relatório LNEC, 196. 2004.

7. Magalhães, A., Veiga, R. *Physical and mechanical characterization of ancient mortars. Application to the evaluation of the state of conservation*, Materiales de Construcción, vol 59.