



# ARGAMASSAS COMPATÍVEIS PARA EDIFÍCIOS ANTIGOS

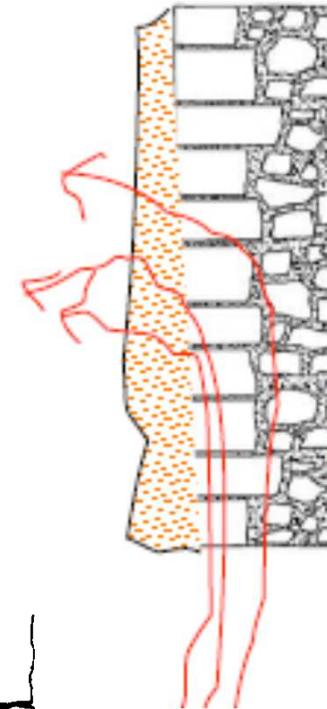
**Ana Rita Santos**

arsantos@lneec.pt

**Maria do Rosário Veiga**

rveiga@lneec.pt

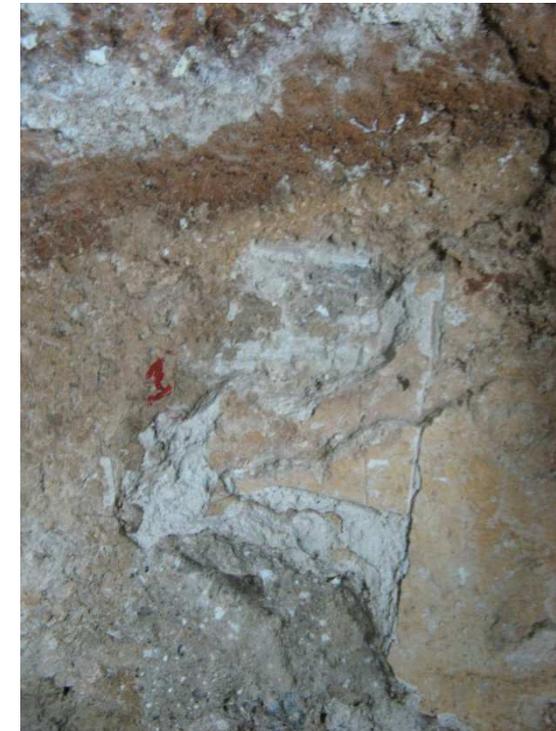
- As paredes dos edifícios antigos são constituídas por **materiais muito porosos**, em geral **com resistências mecânicas inferiores** às paredes atuais.
- Era através de uma secção espessa que conseguiam **cumprir as funções estruturais, de proteção térmica, à água e ao ar.**



- Os revestimentos eram **compostos por ligantes com base em cal aérea e agregados provenientes dos próprios locais de construção.**
- Em alguns casos, apresentavam adições minerais e orgânicas.



- Quando cuidadosamente preparados e aplicados, **adquiriram resistências significativas e durabilidade elevadas.**



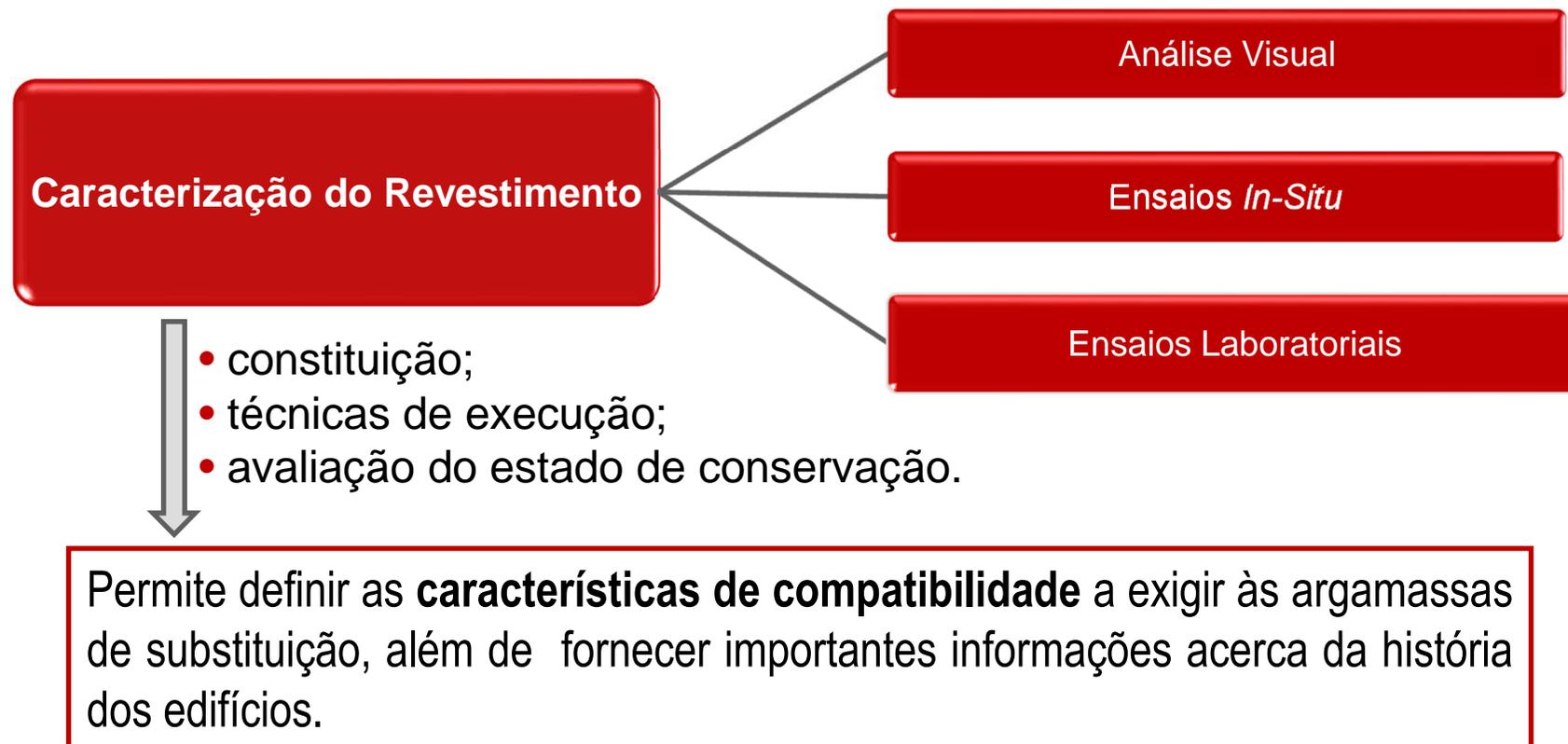
*Fortaleza Nossa Senhora da Luz  
(séc. XV-XVI)*

*Muralha de Tavira (séc. VII)*

- **A falta de conhecimento** sobre as características e o funcionamento das paredes antigas, **resultam em intervenções** que, **normalmente, aceleram os mecanismos de degradação.**



- **Uma intervenção** eficaz sobre os revestimentos de paredes de edifícios antigos **exige um conhecimento aprofundado dos revestimentos existentes, da sua composição e do seu estado de conservação.**



## Ensaio *In Situ*

- Avaliação do teor de água com Humidímetro portátil
- Avaliação da permeabilidade a água sob baixa pressão com Tubos de Karsten
- Avaliação da resistência mecânica e do módulo de elasticidade por Ultrassons
- Avaliação da dureza superficial através do Durómetro Shore A
- Avaliação da resistência interna e da deformabilidade através do Esclerómetro de Pêndulo
- Identificação de sais solúveis com marcadores de colorimétrico

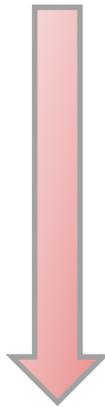


## Ensaio em Laboratório

- Determinação da Massa volúmica real, Massa volúmica aparente e Porosidade aberta total através do Método da pesagem hidrostática
- Determinação da distribuição porosimétrica através da Porosimetria de mercúrio
- Determinação da absorção capilar por contacto
- Determinação da resistência à compressão através do método do confinamento
- Caracterização Química (análise química, análise microestrutural, análise mineralógica, análise térmica, análise orgânica)



- Numa intervenção sobre um edifício antigo, **a primeira opção deve ser sempre a conservação dos revestimentos existentes**, recorrendo a estratégias preventivas, através de planos de manutenção e, quando necessário, a reparações pontuais e a técnicas de consolidação.



Sendo **inviável do ponto vista técnico e económico**, deve-se então recorrer-se a substituições parciais ou totais dos revestimentos.

- A seleção das soluções de revestimentos de substituição deve basear-se em **critérios de compatibilidade com os elementos pré-existentes**, tentando evitar, a aceleração da degradação dos materiais pré-existentes, em particular das alvenarias.

## CrITÉrios de Compatibilidade

- Não contribuir para degradar os elementos pré-existentes, nomeadamente as alvenarias antigas;
- Ter a capacidade de proteger as paredes;
- Ser reversíveis, ou, pelo menos, reparáveis;
- Ser duráveis (e contribuir para a durabilidade do conjunto);
- Não prejudicar a apresentação visual da arquitetura, nem descaracterizar o edifício.



- Bom comportamento à água: oferecer alguma resistência à penetração da água até ao suporte e não dificultar a sua secagem;
- Ter alguma resistência mecânica mas não transmitir tensões elevadas ao suporte;
- Não introduzir sais solúveis ao suporte.

## Critérios de Compatibilidade

### Requisitos estabelecidos para as características mecânicas das argamassas de substituição para edifícios antigos

Argamassa	Características Mecânicas (MPa)			Aderência (MPa)	Comportamento à retração restringida			
	Rt	Rc	E		F <sub>rmáx</sub> (N)	G (N.mm)	CSAF	CREF (mm)
Reboco	0,20 - 0,70	0,40 - 2,50	2000 - 5000	0,1 – 0,3 ou rotura coesiva pelo reboco	< 70	> 40	> 1,5	> 0,7
Juntas	0,40 - 0,80	0,60 - 3,00	3000 - 6000	0,1 – 0,5 ou rotura coesiva pela junta				

**Rt** – Resistência à tração por flexão; **Rc** – Resistência à compressão; **E** – Módulo de elasticidade dinâmico por frequência de ressonância; **F<sub>rmáx</sub>** – Força máxima induzida por retração restringida; **G** – Energia de rotura à tração; **CSAF** =  $Rt/F_{rmax}$  – Coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda; **CREF** =  $G/F_{rmax}$  – Coeficiente de resistência à evolução da fendilhação. 11

## Crítérios de Compatibilidade

### Requisitos estabelecidos para as características do comportamento à água das argamassas de substituição para edifícios antigos

Argamassa	Ensaio clássico		Ensaio com o humidímetro			Envelhecimento artificial acelerado
	$S_D$ (m)	C ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ )	M (h)	S (h)	H (mv.h)	
Reboco	< 0,08	1 -1,5	> 0,1	< 120	< 16 000	Médio: degradação moderada nos ciclos água/gelo
Juntas	< 0,10	1 -1,5	> 0,1		< 16 000	

$S_D$  - Espessura da camada de ar de difusão equivalente a 10 mm de argamassa; **C** - Coeficiente de capilaridade; **M** - Atraso na molhagem, definido como o período de tempo decorrente desde o momento da aplicação da água sobre o provete até a água atingir as sondas, considerando-se que tal acontece quando se verifica uma quebra de tensão elétrica de 5%; **S** - Período de humedecimento, definido como o período de tempo durante o qual o suporte permanece humedecido, considerando-se que tal acontece enquanto a tensão elétrica se mantém abaixo de 95% do seu valor inicial; **H** - intensidade de molhagem, definida como a quantidade de molhagem sofrida durante o ensaio, ou seja a área situada entre a linha que define a variação da tensão elétrica com o tempo e a linha correspondente ao valor da tensão no estado considerado seco, ou seja, de 95% do valor inicial.

## Soluções Correntes

Gamas de valores obtidos em estudos do LNEC de argamassas novas para uso em reparação <sup>(1)</sup>

Composição	ligante: agregado (em volume)	Características Mecânicas (MPa)			Comportamento à água	
		R <sub>t</sub>	R <sub>c</sub>	E	C (kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	S <sub>D</sub> (m)
Cal aérea: agregado	1:3	0,2 - 0,8	0,6 - 1,6	2300 - 4100	1,1 - 1,6	0,05 - 0,08
(Cal aérea+pozolana): areia	1:2 a 1:3	0,2 - 0,6	0,5 - 2,3	2500 - 4500	1,3 - 2,3	0,05 - 0,06
(Cal aérea+cal hidráulica): areia	1:2 a 1:3	0,3 - 0,8	0,4 - 1,0	1600 - 5600	1,2 - 1,9	0,07 - 0,09
Cal hidráulica: areia	1:2 a 1:3	0,2 - 1,2	0,6 - 3,1	1100 - 7500	1,0 - 2,4	0,08
(Cal+algum cimento): areia	1:3	0,5 - 0,7	0,9 - 5,1	3000 - 6500	1,0 - 2,0	0,10 - 0,11
Cimento: areia	1:4	0,9 - 1,7	3,1 - 6,9	5500 - 9810	0,7 - 1,9	0,07 - 0,14

**R<sub>t</sub>** – Resistência à tração por flexão; **R<sub>c</sub>** – Resistência à compressão; **E** – Módulo de elasticidade dinâmico por frequência de ressonância; **C** - Coeficiente de capilaridade; **S<sub>D</sub>** - Espessura da camada de ar de difusão equivalente a 10 mm de argamassa.

<sup>(1)</sup> Dados baseados em estudos de Ana Velosa, Goreti Margalha, Ana Cristian Magalhães e Ana Fragata, sintetizados em VEIGA, M. Rosário et al. – *Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings*. International Journal of Architectural Heritage vol. 4 (2), pp.177-195, April-June 2010. Select papers from HMC 2008 – The first Historical Mortars Conference. ISSN 1558-3058.

## Soluções Correntes

Gamas de valores obtidos em estudos do LNEC de argamassas novas para uso em reparação <sup>(1)</sup>

Composição	ligante: agregado (em volume)	Características Mecânicas (MPa)			Comportamento à água	
		Rt	Rc	E	C (kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	S <sub>D</sub> (m)
<b>Cal aérea: agregado</b>	<b>1:3</b>	<b>0,2 - 0,8</b>	<b>0,6 - 1,6</b>	<b>2300 - 4100</b>	<b>1,1 - 1,6</b>	<b>0,05 - 0,08</b>
<b>(Cal aérea+pozolana): areia</b>	<b>1:2 a 1:3</b>	<b>0,2 - 0,6</b>	<b>0,5 - 2,3</b>	<b>2500 - 4500</b>	<b>1,3 - 2,3</b>	<b>0,05 - 0,06</b>
(Cal aérea+cal hidráulica): areia	1:2 a 1:3	0,3 - 0,8	0,4 - 1,0	1600 - 5600	1,2 - 1,9	0,07 - 0,09
Cal hidráulica: areia	1:2 a 1:3	0,2 - 1,2	0,6 - 3,1	1100 - 7500	1,0 - 2,4	0,08
(Cal+algum cimento): areia	1:3	0,5 - 0,7	0,9 - 5,1	3000 - 6500	1,0 - 2,0	0,10 - 0,11
Cimento: areia	1:4	0,9 - 1,7	3,1 - 6,9	5500 - 9810	0,7 - 1,9	0,07 - 0,14

De acordo com os requisitos estabelecidos, **as argamassas com base em cal** (simples ou aditivada com pozolanas) **são as mais adequadas para revestimentos de paredes antigas.**

As argamassas bastardas de cal aérea com pequenas percentagens de cimento, apresentam um comportamento mecânico satisfatório, contudo são menos permeáveis ao vapor de água limitando a capacidade de secagem da parede.

## Soluções Correntes

Gamas de valores obtidos em estudos do LNEC de argamassas novas para uso em reparação <sup>(1)</sup>

Composição	ligante: agregado (em volume)	Características Mecânicas (MPa)			Comportamento à água	
		R <sub>t</sub>	R <sub>c</sub>	E	C (kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	S <sub>D</sub> (m)
Cal aérea: agregado	1:3	0,2 - 0,8	0,6 - 1,6	2300 - 4100	1,1 - 1,6	0,05 - 0,08
(Cal aérea+pozolana): areia	1:2 a 1:3	0,2 - 0,6	0,5 - 2,3	2500 - 4500	1,3 - 2,3	0,05 - 0,06
(Cal aérea+cal hidráulica): areia	1:2 a 1:3	0,3 - 0,8	0,4 - 1,0	1600 - 5600	1,2 - 1,9	0,07 - 0,09
Cal hidráulica: areia	1:2 a 1:3	0,2 - 1,2	0,6 - 3,1	1100 - 7500	1,0 - 2,4	0,08
<b>(Cal+algum cimento): areia</b>	<b>1:3</b>	<b>0,5 - 0,7</b>	<b>0,9 - 5,1</b>	<b>3000 - 6500</b>	<b>1,0 - 2,0</b>	<b>0,10 - 0,11</b>
Cimento: areia	1:4	0,9 - 1,7	3,1 - 6,9	5500 - 9810	0,7 - 1,9	0,07 - 0,14

❑ De acordo com os requisitos estabelecidos, as argamassas com base em cal (simples ou aditivada com pozolanas) são as mais adequadas para revestimentos de paredes antigas.

❑ As argamassas bastardas de cal aérea com pequenas percentagens de cimento, apresentam um comportamento mecânico satisfatório, contudo são menos permeáveis ao vapor de água limitando a capacidade de secagem da parede.

## Soluções Correntes

Gamas de valores obtidos em estudos do LNEC de argamassas novas para uso em reparação <sup>(1)</sup>

Composição	ligante: agregado (em volume)	Características Mecânicas (MPa)			Comportamento à água	
		Rt	Rc	E	C (kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	S <sub>D</sub> (m)
Cal aérea: agregado	1:3	0,2 - 0,8	0,6 - 1,6	2300 - 4100	1,1 - 1,6	0,05 - 0,08
(Cal aérea+pozolana): areia	1:2 a 1:3	0,2 - 0,6	0,5 - 2,3	2500 - 4500	1,3 - 2,3	0,05 - 0,06
(Cal aérea+cal hidráulica): areia	1:2 a 1:3	0,3 - 0,8	0,4 - 1,0	1600 - 5600	1,2 - 1,9	0,07 - 0,09
Cal hidráulica: areia	1:2 a 1:3	0,2 - 1,2	0,6 - 3,1	1100 - 7500	1,0 - 2,4	0,08
(Cal+algum cimento): areia	1:3	0,5 - 0,7	0,9 - 5,1	3000 - 6500	1,0 - 2,0	0,10 - 0,11
<b>Cimento: areia</b>	<b>1:4</b>	<b>0,9 - 1,7</b>	<b>3,1 - 6,9</b>	<b>5500 - 9810</b>	<b>0,7 - 1,9</b>	<b>0,07 - 0,14</b>

❑ As argamassas com cimento como ligante principal são demasiado resistentes e rígidas, transmitindo ao suporte esforços elevados e assim degradando as alvenarias antigas.

❑ A Cal hidráulica natural apresenta resistências mecânicas bastante satisfatórias, mas é um material de características muito variáveis exigindo uma escolha criteriosa.

## Soluções Correntes

Gamas de valores obtidos em estudos do LNEC de argamassas novas para uso em reparação <sup>(1)</sup>

Composição	ligante: agregado (em volume)	Características Mecânicas (MPa)			Comportamento à água	
		R <sub>t</sub>	R <sub>c</sub>	E	C (kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	S <sub>D</sub> (m)
Cal aérea: agregado	1:3	0,2 - 0,8	0,6 - 1,6	2300 - 4100	1,1 - 1,6	0,05 - 0,08
(Cal aérea+pozolana): areia	1:2 a 1:3	0,2 - 0,6	0,5 - 2,3	2500 - 4500	1,3 - 2,3	0,05 - 0,06
<b>(Cal aérea+cal hidráulica): areia</b>	<b>1:2 a 1:3</b>	<b>0,3 - 0,8</b>	<b>0,4 - 1,0</b>	<b>1600 - 5600</b>	<b>1,2 - 1,9</b>	<b>0,07 - 0,09</b>
<b>Cal hidráulica: areia</b>	<b>1:2 a 1:3</b>	<b>0,2 - 1,2</b>	<b>0,6 - 3,1</b>	<b>1100 - 7500</b>	<b>1,0 - 2,4</b>	<b>0,08</b>
(Cal+algum cimento): areia	1:3	0,5 - 0,7	0,9 - 5,1	3000 - 6500	1,0 - 2,0	0,10 - 0,11
Cimento: areia	1:4	0,9 - 1,7	3,1 - 6,9	5500 - 9810	0,7 - 1,9	0,07 - 0,14

❑ As argamassas com cimento como ligante principal são demasiado resistentes e rígidas, transmitindo ao suporte esforços elevados e assim degradando as alvenarias antigas.

❑ A **Cal hidráulica** apresenta resistências mecânicas bastante satisfatórias, mas é um material de características muito variáveis exigindo uma escolha criteriosa.

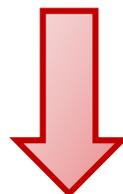
## Ligantes

- Existem diferenças significativas, em termos de microestrutura e reologia, nas cals produzidas de diferentes modos.
- ❑ O uso de **cal em pasta** com longos períodos de apagamento **é mais trabalhável** e tem óbvias vantagens para acabamentos decorativos, mas não está provado que tenha melhores resistências mecânicas, climáticas e ambientais.
- ❑ As **argamassas executadas com cal viva apagada diretamente com a areia húmida** em obra, resultam **mais resistentes mecanicamente** mas mostram também grande heterogeneidade e tendência para a fissuração.



### Ligantes

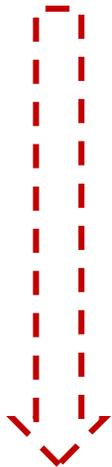
- ❑ As **argamassas de cal aérea e pozolanas** são soluções possíveis, mas para cada tipo de pozolanas é necessário estudar as proporções adequadas e as condições de cura ótimas de modo a que ocorra a reação pozolânica e sejam obtidas as características pretendidas.
- ❑ **Argamassas com cal hidráulica natural**, produzidas com as exigências da recente NP EN 459:2011, **podem ser boas soluções para obras de reabilitação de edifícios antigos localizados em zonas muito húmidas ou em contacto direto com a água.**



**Realizar estudos detalhados com estas cais produzidas em Portugal**

## Agregados

- ❑ **As areias mostram influenciar o comportamento das argamassas;** o estudo e a otimização dos agregados, no que se refere quer à curva granulométrica quer à sua natureza e forma, é necessário de modo a determinar a estrutura porosa, o comportamento à água e aos sais e o comportamento mecânico das argamassas.
- ❑ Segundo *Von Konow*, é possível produzir argamassas de cal aérea com diferentes características variando apenas a granulometria das areias presentes na sua composição.



- ❑ **Necessidade da otimização de uma curva granulométrica**

## Agregados

- ❑ Em Portugal é muito comum a utilização de areias provenientes de jazidas e o uso de areias de rio.



Devido às restrições ao uso (a nível Europeu)

Começam a ser utilizadas, **em substituição de uma parte de areia siliciosa, as areias provenientes da britagem, em especial de natureza calcária.**



O estudo dos agregados provenientes da britagem de rochas

- ❑ Estudo da natureza da rocha de origem;
- ❑ Análise da influência da forma do agregado na estrutura da argamassa.

- O estudo dos agregados e da sua influência na estrutura porosa e, conseqüentemente, nas características e durabilidade das argamassas de cal aérea e hidráulica natural.
- O estudo de materiais pozolânicos e da influência das condições de cura.
- O estudo das argamassas com cal hidráulica natural.

- ❑ **Os revestimentos de paredes têm um papel relevante na durabilidade e na imagem dos edifícios.** Assim, a sua conservação e reparação são decisivas para a preservação do Património construído.
- ❑ **A conservação dos edifícios antigos,** sejam eles monumentos ou edifícios correntes, **que contribuem para manter o carácter dos centros urbanos e dos bairros históricos, exige conhecimentos diversificados.**

**O tema da conservação tem vindo a ser objeto de investigação do LNEC em diversas áreas científicas.** Trata-se de uma matéria verdadeiramente multidisciplinar, exigindo, para o sucesso da obra, especialistas de várias áreas científicas;

O LNEC encontra-se particularmente bem equipado ao dispor do equipamento necessário, mas sobretudo de recursos humanos científicos que ao longo do tempo têm vindo a desenvolver projetos em conjunto nessa área, criando também parcerias com outras instituições, a nível nacional e internacional.



# ARGAMASSAS COMPATÍVEIS PARA EDIFÍCIOS ANTIGOS

**Obrigada  
pela vossa atenção**

**Ana Rita Santos**

arsantos@lnec.pt

**Maria do Rosário Veiga**

rveiga@lnec.pt