

# COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE ELEMENTOS RESISTENTES EM ALVENARIA DE ADOBE

Humberto Varum\*, Aníbal Costa, Henrique Pereira, João Almeida

Departamento de Engenharia Civil - Universidade de Aveiro  
3810-193 Aveiro, PORTUGAL

Tel.: +351 234 370938 - Fax: +351 234 370094 - E-mail: [hvarum@civil.ua.pt](mailto:hvarum@civil.ua.pt)

## Tema 2: História, Conservação e Património

Palavras-chave: Elementos estruturais em adobe, Ensaios de caracterização mecânica

### RESUMO

Em Portugal e principalmente no distrito de Aveiro a construção em adobe foi uma técnica muito utilizada, passando de geração em geração, até meados do século XX. Actualmente cerca de 25% das construções existentes na cidade de Aveiro são de adobe, estes números sobem para 40% se referidos a todo o distrito. O adobe foi utilizado nas mais diversas construções, desde edifícios rurais, edifícios urbanos de maior porte, muros, poços de água, igrejas e armazéns. De destacar inúmeros edifícios de elevado valor histórico e patrimonial que foram também construídos em adobe, como por exemplo alguns edifícios de estilo *Art Nouveaux*. A reabilitação ou reforço destas construções tem vindo a ser negligenciada. Da falta de sensibilidade para a sua preservação resultou o estado actual de dano estrutural pronunciado e, em muitos casos, o limiar da ruína, no qual se encontram a maioria das construções existentes e que deixa antever, a breve prazo, a entrada em colapso de muitas destas. Para colmatar a falta de informação acerca do comportamento e propriedades mecânicas dos elementos estruturais em adobe, a Universidade de Aveiro tem vindo a desenvolver estudos e ensaios de caracterização deste tipo de material e construção, nomeadamente a realização de levantamentos dimensionais, estudo da composição dos diferentes adobes da região e do seu comportamento mecânico. Foram efectuados ensaios de caracterização mecânica de amostras extraídas de blocos de adobe e de pequenos muretes de alvenaria de adobe. Sobre os muretes realizaram-se ensaios de compressão perpendicular às juntas de assentamento e ensaios de compressão diagonal. Os resultados desta campanha de ensaios servirão para a calibração de modelos numéricos refinados, que representem o comportamento de elementos construtivos de adobe, a serem usados na análise das construções existentes de adobe e no suporte de eventuais intervenções de reabilitação e reforço.

## 1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

Em Portugal, a construção em terra, como elemento estrutural, foi usada principalmente no sul e centro litoral. No norte e centro interior, devido à maior abundância da pedra, domina a alvenaria de pedra. A técnica construtiva mais utilizada no sul é a taipa. Relativamente ao adobe, e apesar da sua relevante heterogeneidade, confirmada pelas inúmeras tipologias identificadas, a maioria das construções encontram-se confinadas sobretudo ao centro litoral, nomeadamente no distrito de Aveiro [1, 2].

A deterioração, e em muitos casos abandono, das construções em adobe da região de Aveiro é cada vez mais notável. Encontram-se porém construções inteiramente capazes de cumprir as funções para as quais foram concebidas e construídas, bastando para tal pequenas obras de manutenção e conservação. No entanto, a demolição tem sido a solução mais adoptada para estas construções, ressaltando casos pontuais de reabilitação e reforço por parte de alguns proprietários sensibilizados com a salvaguarda e preservação deste importante património.

A reabilitação destas edificações apresenta dificuldades acrescidas inerentes à falta de informação sobre as propriedades e características do comportamento mecânico do adobe,

sendo necessários estudos técnicos para determinar propriedades como: o módulo de elasticidade, a sua resistência à compressão, tracção e corte ou a sua composição, entre outros.

A caracterização mecânica dos blocos de adobe e das argamassas em construções existentes, bem como das próprias alvenarias em adobe, são instrumentos fundamentais no apoio aos projectos de reabilitação e reforço deste tipo de alvenaria resistente, e até mesmo em construções novas com recurso a esta técnica construtiva [3].

## 2. CONSTRUÇÕES EM ADOBE NO DISTRITO DE AVEIRO

A construção em alvenaria resistente de adobe encontra na região de Aveiro a sua maior implantação. Impulsionada em finais do século XIX, teve o seu auge na primeira metade do século XX, vindo a ser gradualmente abandonada nos anos sessenta até ao seu total desaparecimento como técnica construtiva. Segundo dados do município, actualmente, cerca de 25% das construções existentes na cidade de Aveiro são de adobe. Estes números sobem para 40% se referidos a todo o distrito, destacando-se assim a importância deste sistema construtivo no meio rural.

Actualmente, o adobe pode ser encontrado nas mais variadas construções desde edifícios rurais geralmente de pequenas dimensões, a edifícios urbanos de maior porte, passando por muros, poços de água, igrejas e armazéns. Inúmeros edifícios de elevado valor patrimonial foram construídos em adobe, de que são exemplo alguns edifícios em estilo *Art Nouveaux* (Figura 1).

A grande heterogeneidade de dimensões e de constituição do adobe dificulta a caracterização e o estudo das construções em adobe. Regra geral, os blocos de adobe eram realizados com terra arenosa húmida, que depois de amassada e metida em formas, era seca ao sol. Para o melhoramento do seu desempenho mecânico era relativamente frequente a inclusão de cal e, por vezes, de palha. As dimensões correntes do adobe em Aveiro, pese embora a existência de inúmeras tipologias identificadas, variavam, sobretudo, consoante o uso, sendo de aproximadamente 0.45x0.30x0.15m quando utilizados em casas e de 0.45x0.20x0.15m quando utilizados na construção de muros.



Figura 1 - Construções em adobe no distrito de Aveiro.

Em Aveiro inúmeros edifícios existentes, alguns de interesse histórico e cultural, foram construídos com paredes resistentes em adobe, nomeadamente igrejas, antigas fábricas, armazéns e casas de elevado valor arquitectónico. Neste último grupo incluem-se construções em estilo *Art Nouveaux*, cuja influência marcou fortemente a cidade de Aveiro.

Este movimento artístico surge por volta de 1880 e afirma-se pelo seu carácter ornamental. A *Art Nouveaux* caracteriza-se por uma decoração de linhas curvas, por emblemas específicos cuja fonte de inspiração é a natureza, reflectindo-se nos azulejos de fachada e interiores, nos gradeamentos de ferro forjado, nas molduras de portas e janelas (exemplos na Figura 2).



Figura 2 – Exemplos de edifícios em *Art Nouveaux* com paredes resistentes em adobe e elementos decorativos em pedra nas fachadas.

### 3. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Foram desenvolvidos ensaios para obter informação sobre o comportamento e propriedades mecânicas do adobe da região. Efectuaram-se trabalhos de caracterização mecânica de amostras de blocos de adobe, de argamassas de junta e de reboco, e de pequenos muretes construídos com materiais representativos dos encontrados nas construções existentes. Com o objectivo de caracterizar a resistência ao corte e à compressão das paredes de alvenaria de adobe foram construídos 13 muretes com 17×17×10cm e ensaiados à compressão diagonal e perpendicular às juntas de assentamento.

#### 3.1 Selecção e nomenclatura das amostras

Dada a enorme heterogeneidade do adobe existente na região, tentou-se seleccionar um conjunto de amostras representativas das suas tipologias. Para tal, foram recolhidas amostras de adobes de casas e muros em distintos locais de forma a caracterizá-lo o mais amplamente possível. Para facilitar a identificação dos provetes de adobe e dos muretes construídos, estes foram numerados e seriados, segundo a sua proveniência, diferenciando, respectivamente, amostras de casas (*H*) e muros (*W*).

Para os provetes de adobe adoptou-se a notação:  $H\_i\_j$  e  $W\_i\_j$ , onde o índice *i* representa o número da obra, e o índice *j*, representa o número do carote extraído. Para os ensaios sobre os muretes foi adoptada a mesma notação, mas substituindo o índice *j* por

*wjp* ou *wjd* conforme se trate de um ensaio de compressão perpendicular às juntas ou de compressão diagonal.

### **3.2 Ensaio de compressão simples de provetes de adobe**

Das amostras de adobe recolhidas foram retirados carotes cilíndricos com diâmetro compreendido entre 70 e 90mm. Sobre as carotes extraídas, com altura aproximadamente igual ao dobro do diâmetro, procedeu-se à regularização das suas faces de topo, de forma a estas ficarem perfeitamente perpendiculares ao seu eixo, melhorando o contacto com os pratos da prensa de ensaios.

Os provetes cilíndricos foram submetidos a ensaios de compressão simples a fim de determinar a resistência mecânica dos elementos de adobe. A descrição detalhada dos resultados destes ensaios sobre provetes de adobe pode ser encontrada em [4, 5]. Na Secção 3.5 serão apresentados sumariamente os resultados mais relevantes para a caracterização do comportamento mecânico do adobe.

### **3.3 Ensaio de compressão de argamassas de assentamento**

Foram realizados ensaios de compressão sobre provetes de argamassa de assentamento recolhidas em construções existentes. Na construção dos muretes recorreu-se a uma argamassa formulada em laboratório, usando como ligante a cal aérea para que estas representassem com rigor as argamassas usadas nas construções da região.

Os provetes de argamassa retirados de construções, com dimensões aproximadamente de 4x4cm e espessura semelhante à da junta original, foram ensaiados à compressão simples. Por sua vez, os provetes das argamassas formuladas, prismas com dimensões de 16x4x4cm, foram ensaiados inicialmente à flexão e com as duas metades resultantes deste ensaio foram executados ensaios de compressão simples.

Dos ensaios realizados às argamassas formuladas obteve-se um valor médio de resistência à compressão de 1.42MPa. Para as amostras de argamassa recolhidas em diversas construções existentes foram obtidos valores médios de resistência semelhantes, tendo-se verificado, no entanto, uma maior variabilidade.

### **3.4 Ensaio de compressão simples e diagonal sobre muretes**

Com o objectivo de determinar a resistência ao corte e compressão das paredes tradicionais de alvenaria de adobe foram realizados 13 muretes com 17x17x10cm e ensaiados à compressão perpendicular às juntas de assentamento e à compressão diagonal (Figura 3).

Para facilitar a realização dos ensaios optou-se pela execução de muretes a uma escala reduzida. Para tal, extraiu-se a partir de blocos originais de construções existentes pequenos blocos rectangulares com dimensões 17x10x5cm.

Os muretes foram construídos utilizando uma argamassa com composição análoga à usada tradicionalmente e com juntas de espessura proporcional às juntas nas construções existentes (aproximadamente 1cm), considerando o efeito de redução de escala. Os elementos de adobe foram dispostos em três fiadas horizontais, sendo as fiadas superior e inferior constituídas por um bloco inteiro, com as dimensões de 17x10x5cm, e a fiada intermédia realizada com duas metades e uma junta vertical (ver Figura 3).

Foram utilizados elementos de adobe retirados de três edificações distintas (Casa 5, Casa 10, e Muro 10), tendo sido estes caracterizados ao nível de resistência à compressão simples. Os principais resultados da caracterização dos adobes são sumariamente apresentados na Secção 3.5.

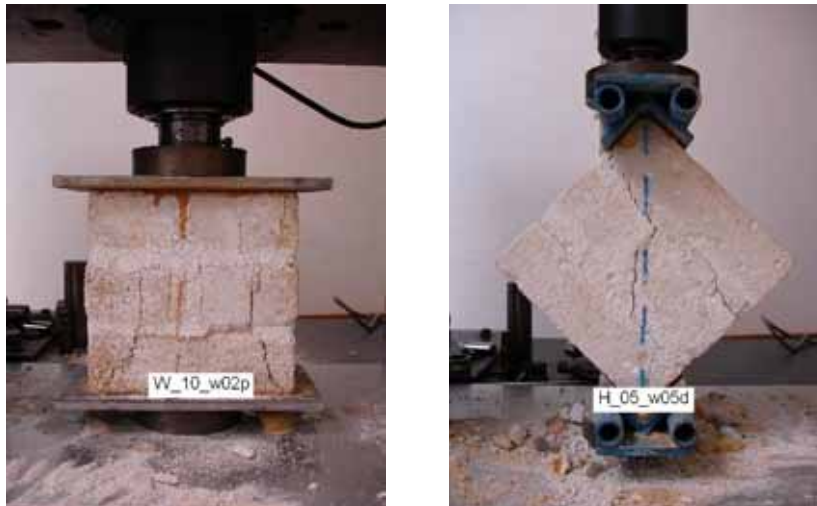


Figura 3 – Muretes: ensaio de compressão perpendicular às juntas de assentamento e ensaios de compressão diagonal.

Das curvas força-deformação obtidas através de ensaios de compressão diagonal, pode-se estimar a tensão de rotura em corte e o módulo de elasticidade transversal de cada murete, de acordo com as recomendações do RILEM [6].

A tensão de rotura ( $S_s$ ) devido ao corte é calculada, para cada murete, tendo por base a seguinte expressão:

$$S_s = \frac{0.707 \cdot P}{A_n}$$

onde  $P$  representa a força de rotura e  $A_n$  representa a área efectiva de corte, sendo determinada por:

$$A_n = \frac{l+h}{2} \cdot t \cdot n$$

onde  $l$  e  $h$  representam a largura e a altura do murete,  $t$  representa a sua espessura e  $n$  a fracção de área maciça do murete (neste caso  $n = 1$ , pois os blocos de adobe são maciços).

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de compressão sobre os muretes são apresentados e discutidos na Secção 3.5.

### 3.5 Análise e interpretação dos resultados

Na Tabela 1 apresentam-se os principais resultados dos ensaios realizados sobre elementos de adobe, e sobre os muretes.

Os ensaios de compressão perpendicular às juntas de assentamento sobre os muretes mostram valores de resistência à compressão que varia entre 0.86 e 1.33MPa. Salienta-se que a argamassa usada nas juntas possui uma resistência à compressão média de 1.42MPa. Para os blocos de adobe (provetes cilíndricos ensaiados à compressão simples) obtiveram-se valores de resistência à compressão entre 0.99 e 2.15MPa. Analisando os resultados para cada construção, verifica-se uma notável correlação entre a resistência à compressão do adobe e dos muretes correspondentes.

Relativamente aos ensaios de corte obtiveram-se valores para a tensão resistente que varia entre 0.05 e 0.19MPa. Pode-se ainda verificar que para os muretes constituídos por adobe de menor resistência à compressão obteve-se uma menor resistência ao corte.

O módulo de elasticidade transversal e a resistência ao corte, para cada série de muretes ensaiada, é cerca de 1/10 dos correspondentes módulo de elasticidade e resistência à compressão avaliados nos ensaios de compressão perpendicular às juntas.

Os valores obtidos em cada ensaio de compressão perpendicular às juntas de assentamento e em cada ensaio de compressão diagonal são apresentados na Tabela 1. Na Figura 4 são apresentados gráficos com as curvas de comportamento obtidas nos ensaios de compressão (diagonal e perpendicular às juntas) dos muretes. No gráfico correspondente aos ensaios de compressão perpendicular às juntas, sobrepõem-se ainda o valor da tensão de rotura do adobe utilizado.

Tabela 1 – Principais resultados dos ensaios de caracterização mecânica do adobe e dos muretes.

	Amostra	Módulo de Elasticidade (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Módulo de Elasticidade Transversal (MPa)	Resistência ao Corte (MPa)	Deformação para a resistência máxima (mm/mm)	
House 5	H_05_01	630	3.07	--	--	0.011	
	H_05_02	640	2.96	--	--	0.015	
	H_05_03	450	3.00	--	--	0.019	
	H_05_04	650	2.86	--	--	0.012	
	H_05_05	315	1.53	--	--	0.015	
	H_05_06	315	1.31	--	--	0.011	
	H_05_07	380	1.36	--	--	0.012	
	H_05_08	200	1.13	--	--	0.021	
	Média	448	2.15	--	--	0.015	
	Murete	perp. H_05_w01p	170	1.02	--	--	0.017
		H_05_w02p	200	1.57	--	--	0.016
		H_05_w03d	--	--	47	0.17	0.004
		diag. H_05_w04d	--	--	57	0.17	0.003
		H_05_w05d	--	--	55	0.19	0.005
Média	185	1.30	53	0.18	--		
House 10	H_10_01	375	2.20	--	--	0.008	
	H_10_02	590	3.01	--	--	0.007	
	H_10_03	210	1.61	--	--	0.009	
	H_10_04	350	1.89	--	--	0.008	
	H_10_05	220	1.46	--	--	0.011	
	H_10_06	270	1.74	--	--	0.009	
	Média	336	1.99	--	--	0.009	
	Murete	perp. H_10_w01p	200	1.33	--	--	0.08
		diag. H_10_w02d	--	--	25	0.07	0.004
		H_10_w03d	--	--	30	0.11	0.007
Média	200	1.33	28	0.09	--		
Wall 10	W_10_01	123	0.88	--	--	0.019	
	W_10_02	195	1.01	--	--	0.008	
	W_10_03	160	0.99	--	--	0.014	
	W_10_04	210	1.28	--	--	0.012	
	W_10_05	115	0.81	--	--	0.013	
	Média	161	0.99	--	--	0.013	
	Murete	perp. W_10_w01p	95	0.77	--	--	0.016
		W_10_w02p	250	0.95	--	--	0.015
		W_10_w03d	--	--	25	0.06	0.006
		diag. W_10_w04d	--	--	15	0.05	0.006
W_10_w05d		--	--	10	0.05	0.011	
Média	173	0.86	15	0.05	--		

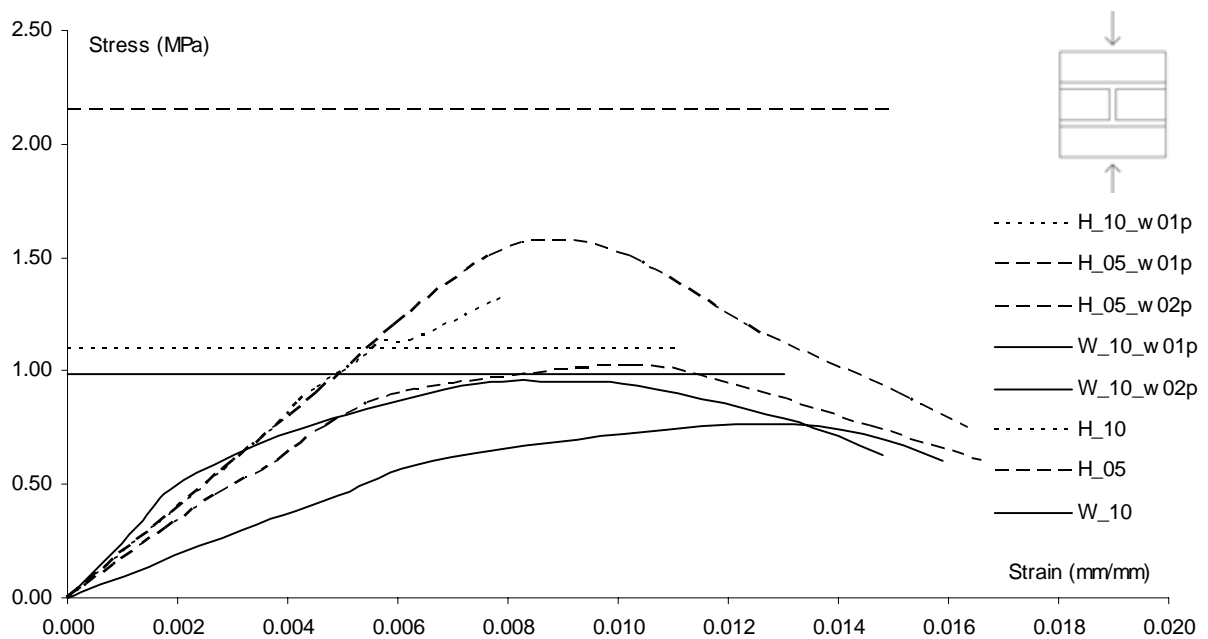
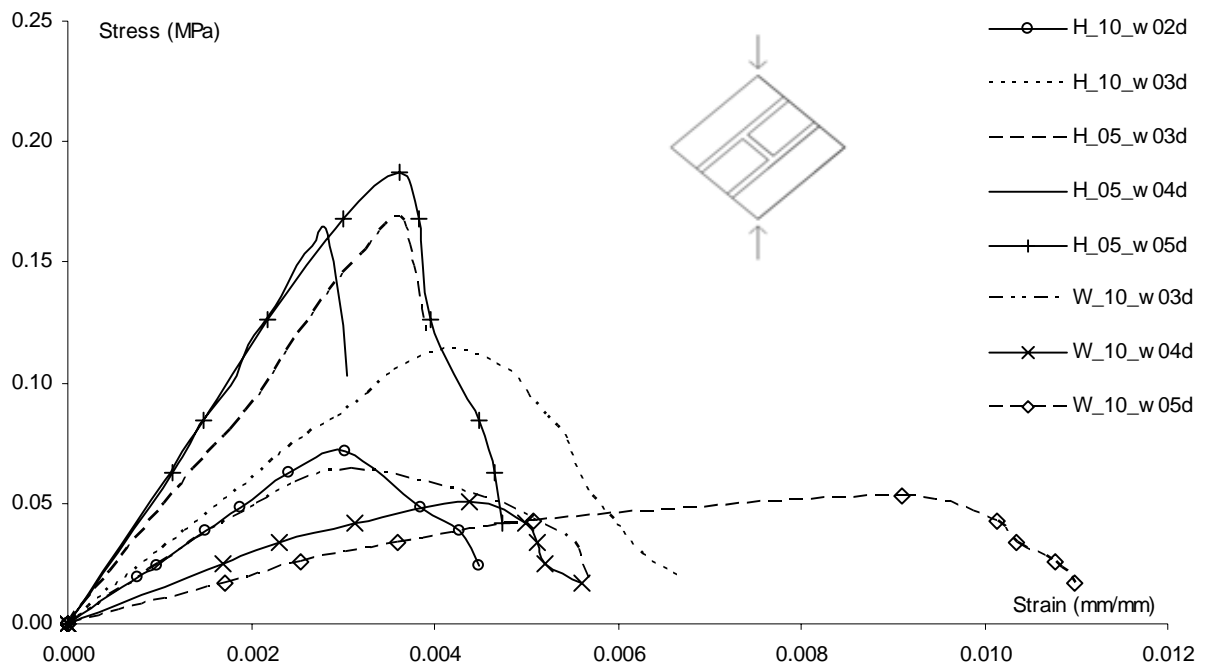


Figura 4 – Curvas de comportamento obtidas nos ensaios dos muretes: a) compressão diagonal; b) compressão perpendicular às juntas de assentamento (com indicação da tensão de rotura em compressão do adobe utilizado).

### Agradecimentos

Os autores agradecem à engenheira Conceição Costa do Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro por todo o apoio dado na execução dos ensaios, e à empresa CIVILRIA Construções SA pelo transporte dos blocos de adobe para o laboratório.

## Referências bibliográficas

- [1] VEIGA OLIVEIRA, E.; GALHANO, F. *Arquitectura Tradicional Portuguesa*. Portugal de Perto Publicações D. Quixote. Portugal. 1992.
- [2] Seminário. *Arquitecturas de Terra*. Museu Monográfico de Conímbriga. Ed CCRCentro. Portugal. 1992.
- [3] HERNANDEZ, R.S.; Barrios, M.S.; POZAS, J.M.M. *Characterization of ancient construction materials (mud walls and adobe) in the Churches of Cisneros, Villada and Boada de Campos (Palencia)*. *Materiales de Construcción* Vol. 50. n.º 257. 2000. pp. 33-45.
- [4] VARUM, H.; MARTINS, T.; VELOSA, A. *Caracterização do adobe em construções existentes na região de Aveiro*. IV SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com terra e III Seminário Arquitectura de Terra em Portugal. Convento da Orada, Monsaraz, 8 a 10 de Outubro de 2005.
- [5] VARUM, H.; COSTA, A; PEREIRA, H.; ALMEIDA, J. *Ensaios de caracterização do comportamento estrutural de construções existentes em adobe*. V SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com terra e I Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con tierra, Mendoza, Argentina, 14 al 17 de junio de 2006.
- [6] RILEM *Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials*. E&FN Spon. UK. 1994.

## Currículo resumido dos autores

### Humberto Varum

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Principais interesses de investigação no âmbito da avaliação, reabilitação e reforço das construções existentes e da engenharia sísmica. É membro de várias associações científicas nacionais e internacionais.

### Aníbal Costa

Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Desenvolve a sua actividade científica na Área da Reabilitação e Reforço das Estruturas e Engenharia Sísmica. Fundador do NCREP (Núcleo de Conservação e Reabilitação de Edifícios e Património), integrado na Secção de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da FEUP. Vice-Presidente da SPES (Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica).

### Henrique Pereira

Engenheiro Civil pela Universidade de Aveiro. Principais interesses de investigação: Avaliação, conservação e reabilitação das construções existentes; Construções em terra. Estágio na Câmara Municipal de Aveiro, onde acompanham as obras de reabilitação da Casa Major Pessoa (Arte Nova).

### João Almeida

Engenheiro Civil pela Universidade de Aveiro. Principais interesses de investigação: Avaliação, conservação e reabilitação das construções existentes; Construções em terra. Estágio na Câmara Municipal de Aveiro, onde acompanham as obras de reabilitação da Casa Major Pessoa (Arte Nova).