



ATAS DO SIMPÓSIO

II Simpósio de Argamassas
e Soluções Térmicas de
Revestimento

16 e 17 de Junho de 2016

Coimbra

ÍNDICE

O SIMPÓSIO	3
Mensagem da Comissão Organizadora.....	4
Objetivos do Simpósio	5
Organizadores.....	6
Comissões	7
Temas	9
Patrocínios e Apoios	10
Secretariado do Simpósio	11
ARTIGOS APRESENTADOS	12
1. Argamassas Inovadoras	13
2. Argamassas Térmicas	26
3. Argamassas Sustentáveis.....	95
4. Inspeção e Diagnóstico de Patologias	202
5. Argamassas para Edifícios Antigos.....	203
6. Soluções Térmicas de Revestimento (ETICS e outras)	206
7. Casos de Estudo	229

3. Argamassas Sustentáveis

- ID03 Alvenarias de blocos de terra - caracterização das argamassas de assentamento**
Daniel Ribeiro, Paulina Faria, Vítor Silva
- ID11 Argamassas com resíduos da indústria de compósitos de polímeros com fibras: estado da arte e avaliação do seu comportamento mecânico**
Catarina Brazão Farinha, Jorge de Brito, Maria do Rosário Veiga
- ID15 Rebocos de terra: influência da adição de gesso e da granulometria da areia**
José Lima, Débora Correia, Paulina Faria
- ID16 Análise experimental da influência de agregados reciclados provenientes de RCD no desempenho de argamassa de cal aérea**
Rita I. C. Santos, Fernando F. S. Pinho, Vítor M. D. Silva
- ID19 Avaliação de uma argamassa-cola C2S ao nível da valorização de resíduos e reciclagem no fim de vida**
Ana Ministro, Victor M. Ferreira, Helena Paiva, Pedro Sequeira, Luís Silva
- ID22 Argamassa de reboco com uso de agregados finos de betão reciclado**
Tiago Alves Moraes, Antônio Eduardo Bezerra Cabral
- ID27 Avaliação do estado endurecido de argamassas de revestimento em função da variação do consumo de cimento**
Roberto Cesar de Oliveira Romano, Marcel Hark Maciel, Heitor Montefusco Bernardo, Gabriela Simões Soares, Maria Alba Cincotto, Rafael Giuliano Pileggi
- ID32 Reutilização do resíduo de gesso na construção civil**
Lucas F. Krug, Giovani M. Apolinário, Luciana M. Cardoso
- ID35 Argamassa de revestimento com a adição de fibra de algodão proveniente da estonagem de jeans**
Sarah H. Lopes da Silva, Marienne R. M. M. Costa, Paulo S. O. Resende, Marília V. O. Santana, Janaína G. Araújo, Divino G. L. Pinheiro
- ID45 Aproveitamento de resíduos para integração em argamassas de revestimento**
Isabel Torres, Gina Matias

ALVENARIAS DE BLOCOS DE TERRA - CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

Daniel Ribeiro^{1*}, Paulina Faria^{1,2}, Vítor Silva¹

1: Dep. Eng. Civil, FCT, Universidade NOVA de Lisboa
2829-516 Caparica

dds.ribeiro@campus.fct.unl.pt, paulina.faria@fct.unl.pt, vmd.silva@fct.unl.pt

2: CERis – Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, IST, Univ. Lisboa
1049-001 Lisboa, Portugal

Palavras-chave: Terra, Bloco, Argamassa, Alvenaria, Caracterização

Resumo. *A terra foi dos primeiros materiais de construção utilizados, uma vez que a construção com este material surgiu com as primeiras sociedades agrícolas. Utilizada durante milénios, caiu em desuso durante o século XX com o desenvolvimento de novas técnicas construtivas realizadas com base em cimento.*

A utilização de materiais provenientes do próprio local de produção e construção ou de zonas próximas permite reduzir consumos energéticos e correspondentes libertações de CO₂ em transportes. Por outro lado a preparação da terra para ser utilizada também não implica elevados consumos energéticos, uma vez que se baseia apenas numa escavação, destorroamento e homogeneização. A terra de escavação é classificada como resíduo de escavação; assim, a sua aplicação na construção resulta numa redução dos custos e dos consumos para transporte até entidades de gestão de resíduos e sua gestão como resíduo.

Um bloco de terra pode não conter qualquer adição de ligante ou conter apenas uma percentagem baixa (sempre inferior a 50% da utilizada para a produção de betão para blocos). Nas alvenarias de blocos de terra estes são normalmente interligados através de argamassas, com as quais têm de ser compatíveis fisicamente e mecanicamente. Todas estas questões merecem atualmente um grande interesse com vista a uma maior ecoeficiência da construção. No entanto, a variedade existente na composição dos solos dificulta a normalização da construção com terra, havendo necessidade de um maior conhecimento das características deste tipo de construção e dos materiais de terra utilizados.

Recentemente tem sido dedicado a este tipo de construção um maior interesse por parte da indústria e comunidade científica. Nos países mais desenvolvidos, como é o caso da Alemanha, este interesse levou à publicação de normas que definem os requisitos e ensaios que as argamassas de assentamento de terra, os blocos de terra e os rebocos de terra, sem qualquer estabilização química, devem cumprir para poderem ser aplicados.

Neste artigo apresentam-se os requisitos e os métodos de ensaio que a norma alemã define para argamassas de assentamento de terra e uma comparação com a norma europeia para argamassas de assentamento. Para validação apresenta-se a caracterização de uma argamassa de assentamento de terra estabilizada produzida em condições de laboratório na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa. São apresentados e discutidos os resultados para a argamassa em estudo, procurando classificá-la de acordo com as normas e comparados os resultados com os obtidos por outros autores em estudos anteriores, salientando os principais requisitos de uma argamassa de assentamento.

1. INTRODUÇÃO

O uso de terra como material de construção surgiu há milhares de anos, não sendo consensual o período exato em que tal aconteceu. No entanto, é possível afirmar, com alguma segurança, que este tipo de construção teve início com as primeiras sociedades agrícolas que datam de 12.000 a 7.000 a.C. [1]. Estima-se que atualmente cerca de 30% da população mundial habita edifícios construídos com terra [2].

O constante aumento do custo energético de materiais de construção mais tradicionais, como o tijolo cerâmico e o cimento, levou a uma renovação do interesse na construção em terra, já que a utilização deste recurso permite reduzir os consumos energéticos relativos ao transporte, por ser possível utilizar terra do próprio local de construção, e relativos à produção, já que se trata de um simples processo de escavação, destorroamento e homogeneização.

As alvenarias com blocos de terra comprimida, estabilizados através da adição de uma baixa percentagem de ligante ou não estabilizados, apresentam um elevado potencial para melhorar o conforto higrotérmico e acústico, criando espaços mais acolhedores e saudáveis para os ocupantes. Os blocos são normalmente interligados através de uma argamassa de assentamento que deve ser compatível física e mecanicamente. Normalmente a argamassa mais compatível apresenta uma composição idêntica à do próprio bloco. A estabilização das argamassas com baixas percentagens de ligante permite melhorar os seus comportamentos mecânico e face à água, aumentando a sua durabilidade.

O recurso a terra proveniente do próprio local de construção levou a uma adaptação da construção em função da localização geográfica, do clima, dos equipamentos e tipo de solo disponível. Assim, a variabilidade da terra utilizada dificulta a normalização dos produtos de construção com terra, sendo no entanto necessário existir uma maior caracterização destes tipos de materiais.

A renovação do interesse pela construção em terra, nomeadamente o recurso a alvenaria de blocos de terra comprimida interligados por argamassa de assentamento com base em terra, tem sido objeto de estudo e aplicação em muitos países desenvolvidos do mundo. Em 2013, a Alemanha publicou a norma DIN 18945 [3] relativa aos termos, definições, requisitos e métodos de ensaio de blocos de terra não estabilizados e a norma DIN 18946 [4] que refere os termos, definições, requisitos e métodos de ensaio para argamassas de assentamento de terra não estabilizadas.

Por se tratar de uma norma recente e apenas publicada em língua alemã, neste artigo apresentam-se os requisitos e os métodos de ensaio que a norma define para argamassas de assentamento de terra, a relação com a norma europeia para argamassas de assentamento e a caracterização de uma argamassa de assentamento de terra estabilizada produzida em condições de laboratório na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa. São apresentados e discutidos os resultados para a argamassa em estudo, procurando classificá-la de acordo com a norma DIN [4] e comparar os resultados com os obtidos por outros autores em estudos anteriores.

2. A NORMA DIN 18946

De acordo com a norma DIN 18946 [4] as argamassas de assentamento de terra devem ser analisadas quanto à retração linear, massa volúmica no estado endurecido, resistência à compressão e ao corte, resistência à difusão de vapor de água, condutibilidade térmica, comportamento ao fogo e, no caso de se suspeitar da existência de sais prejudiciais em quantidades que possam provocar degradação da argamassa, a norma indica que deve ser realizado um ensaio para determinação do teor em sais do produto pré-doseado das argamassas de terra. Para a realização de grande parte dos ensaios a norma DIN 18946 [4] remete para normas já existentes de caracterização de argamassas.

2.1. Teor em sais

Tendo em conta os possíveis efeitos prejudiciais de quantidades excessivas de sais a DIN 18946 [4] define valores limite que a argamassa deve respeitar. Desta forma a argamassa não deve apresentar valores superiores a 0,02 M.-% de nitratos, 0,10 M.-% de sulfatos e 0,08 M.-% de cloretos. Além disso, a norma [4] impõe que o conteúdo total de qualquer sal não pode exceder 0,12 M.-%.

2.2. Preparação da argamassa, caracterização no estado fresco e provetes

Segundo a norma DIN 18946 [4] as argamassas de terra a caracterizar devem ser preparadas de acordo com o referido na norma europeia EN 1015-2 [5]. A amassadura deve ser feita com recurso a um equipamento de amassadura mecânico seguindo o seguinte procedimento: colocação de água no recipiente de amassadura; introdução de sólidos durante 30 segundos sob amassadura constante por parte do equipamento; 30 segundos adicionais de amassadura a que se segue um período de repouso de 5 minutos; por fim amassadura por mais 30 segundos. A quantidade de água deve ser ajustada pelo produtor de modo a cumprir o espalhamento definido na norma.

A DIN 18946 [4] define que a argamassa de assentamento no estado fresco deve possuir massa volúmica superior a 1,2 kg/dm³ e consistência por espalhamento, determinada segundo a norma EN 1015-3 [6], de 175±5 mm. A mesma norma define que devem ser produzidos provetes prismáticos de dimensões 40x40x160 [mm], realizados de acordo com a norma europeia EN 1015-11 [7]. Em ensaios específicos são ainda definidos outros tipos de provetes. As propriedades de uma argamassa resultam da média de todos os provetes ensaiados.

2.3. Retração linear por secagem

Para determinar a retração linear por secagem, três provetes prismáticos devem ser colocados em câmara condicionada a 23±5°C e 50±15% de humidade relativa (HR) até atingirem massa constante. A medição é feita com recurso a uma craveira no comprimento do prisma, a meia-altura. Os resultados de retração resultam da redução de comprimento, em percentagem, em relação ao comprimento inicial do molde. A DIN 18946 [4] define que a retração linear por secagem deve ser apresentada com uma casa decimal, em percentagem.

A DIN 18946 [4] define que a retração linear para argamassas de terra não deve ser superior a 2,5% embora considere que para argamassas de terra reforçadas com fibras a retração possa assumir valores até 4%.

2.4. Massa volúmica no estado endurecido

Para determinação da massa volúmica, três provetes prismáticos devem ser colocados em câmara condicionada a 23±5°C e 50±15% de HR até atingirem massa constante (variação de massa em 24h inferior a 0,1%). Com recurso a uma craveira, são medidas as dimensões dos provetes ao centro de cada face e determinada a massa com a utilização de uma balança com precisão mínima de 0,1 g. A massa volúmica no estado endurecido resulta da relação entre a massa e o volume exterior dos provetes. A DIN 18946 [4] define que os valores individuais de massa volúmica devem ser arredondados a duas casas decimais e expressos em kg/dm³. A massa volúmica da argamassa deve ser arredondada a duas casas decimais, podendo ser classificada, segundo a norma [4], de acordo com a Tabela 1 em classes de massa volúmica.

Segundo a DIN 18946 [4] as argamassas para paredes estruturais devem pertencer no mínimo à classe 1,6. As argamassas de assentamento que pertençam às classes compreendidas entre 0,9 e 1,2 podem ser designadas pelo fabricante como argamassas leves.

Tabela 1. Classes de massa volúmica de argamassas de assentamento de terra (com base em [4]).

Classes de Massa Volúmica	Massa Volúmica média [kg/dm ³]
0,9	0,80 a 0,90 ^a
1,0	0,91 a 1,00 ^a
1,2	1,01 a 1,20 ^b
1,4	1,21 a 1,40 ^b
1,6	1,41 a 1,60 ^b
1,8	1,61 a 1,80 ^b
2,0	1,81 a 2,00 ^b
2,2	2,01 a 2,20 ^b
^a Desvio padrão de $\pm 0,05$ kg/dm ³ .	
^b Desvio padrão de $\pm 0,10$ kg/dm ³ .	

2.5. Resistência à compressão e ao corte

A DIN 18946 [4] define que o ensaio de resistência à compressão deve ser realizado de acordo com a EN 1015-11 [7] a um mínimo de três provetes que, através da quebra central ou corte, resultam em 6 provetes (meios prismas) de ensaio. Os resultados devem ser expressos em N/mm², arredondados a uma casa decimal. As argamassas de assentamento para paredes resistente devem ter uma resistência à compressão mínima de 2 N/mm², sendo aceitáveis valores inferiores noutros tipos de aplicação.

Segundo a DIN 18946 [4] o ensaio de resistência ao corte deve seguir a norma EN 1052-3 [8]. São produzidos provetes de ensaio constituídos por três fiadas de blocos de silicato de cálcio interligados com a argamassa em ensaio. No ensaio são aplicadas pré-cargas verticais de 0,05 N/mm², 0,10 N/mm² e 0,20 N/mm² e de seguida é aplicada uma carga horizontal. As argamassas de assentamento para paredes resistentes devem ter uma resistência ao corte mínima de 0,02 N/mm², sendo aceitáveis valores inferiores noutros tipos de aplicação. Os resultados devem ser expressos em N/mm², arredondados a duas casas decimais.

Os provetes de ensaio de resistência à compressão e de resistência ao corte devem ser colocados em câmara condicionada a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 15\%$ de HR durante pelo menos 7 dias antes dos ensaios. A classe de resistência da argamassa de assentamento é classificada, segundo a DIN 18946 [4], de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Classes de resistência de argamassas de assentamento de terra (com base em [4]).

Classe de Resistência	Resistência à compressão [N/mm ²]	Resistência ao corte [N/mm ²]
M0	-	-
M2	$\geq 2,0$	$\geq 0,02$
M3	$\geq 3,0$	$\geq 0,03$
M4	$\geq 4,0$	$\geq 0,04$

2.6. Resistência à difusão de vapor de água e condutibilidade térmica

De acordo com a norma DIN 18946 [4], pode ser assumido o valor $\mu=5/10$ para a resistência à difusão de vapor de água (μ), sem realização de nenhum ensaio. No entanto, a mesma norma

refere que a resistência à difusão de vapor de água da argamassa de assentamento de terra pode ser avaliada aplicando a norma EN ISO 12572 [9] ou a NP EN 1015-19 [10].

Quanto à condutibilidade térmica de argamassas de assentamento de terra, a norma DIN [4] define que deve ser determinada segundo a norma DIN V 4108-4 [11].

2.7. Resistência ao fogo

Segundo a DIN 18946 [4], o comportamento ao fogo das argamassas de assentamento de terra deve ser determinado e classificado de acordo com as normas alemãs DIN 4102-1 [12] e DIN 4102-4 [13]. O ensaio de resistência ao fogo é definido consoante a classe de cada material (A1, A2 ou B1). Na Tabela 3 é possível verificar qual o ensaio a realizar e a sua periodicidade, tendo em conta a classe da argamassa.

Argamassas de assentamento sem agregados orgânicos ou fibras, ou com um conteúdo desses materiais inferior a 1% em massa ou volume (adota-se valor maior), de acordo com a norma DIN 4102-4 [13], podem ser classificadas como sendo de classe A1 sem realização de ensaio.

Tabela 3. Ensaio de resistência ao fogo de argamassas de assentamento de terra (com base em [4]).

CLASSE DO MATERIAL	ENSAIOS	FREQUÊNCIA
A1, A2	DIN 4102-1:1998-05, 5.1.3	1 x por ano
B1	DIN 4102-1:1998-05, 6.2	1 x por ano

3. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DIN 18946 E NP EN 998-2

A norma NP EN 998-2 [14] especifica os requisitos aplicáveis às argamassas industriais para assentamento de alvenarias definindo propriedades para argamassas frescas e para argamassas endurecidas.

Através da análise das normas DIN 18946 [4] e NP EN 998-2 [14] é possível verificar que existem propriedades comuns às duas normas. No que diz respeito às argamassas no estado fresco ambas as normas têm em conta o teor em sais. Quanto ao estado endurecido das argamassas, a DIN 18946 [4] e a NP EN 998-2 [14] avaliam a massa volúmica, a resistência à compressão, a resistência inicial ao corte, a resistência à difusão de vapor, a condutibilidade térmica e ainda a resistência ao fogo.

3.1. Teor em sais

Como referido em 2.1. a DIN 18946 [4] estabelece limites quanto ao teor em sulfatos, nitratos e cloretos. A NP EN 998-2 [14] apenas especifica o limite de teor em cloretos da argamassa, sendo esse limite de 0,1% em massa da argamassa seca. Comparando os dois limites verifica-se que a NP EN 998-2 [14] permite um maior teor de cloretos ainda que a diferença seja pouco significativa.

3.2. Massa volúmica no estado endurecido

As normas DIN 18946 [4] e NP EN 998-2 [14] indicam o mesmo procedimento de ensaio a seguir para determinação da massa volúmica de uma argamassa de assentamento, que é também referido na EN 1015-10/A1 [15]. Como referido em 2.4. a norma DIN [4] permite a classificação de acordo com classes de massa volúmica, considerando que argamassas com massa volúmica entre 0,9 kg/dm³ e 1,2 kg/dm³ são designadas como argamassas leves. A NP EN 998-2 [14] não faz referência a classes de massa volúmica mas, no entanto, refere que argamassas com massa volúmica inferior a 1,3 kg/dm³ podem ser designadas como argamassas leves.

3.3. Resistência à compressão e ao corte

Tal como a DIN 18946 [4], a NP EN 998-2 [14] define que o ensaio de resistência à compressão deve ser realizado de acordo com a norma EN 1015-11 [7] e permite a sua classificação segundo classes de resistência.

Ambas as normas [4, 14] permitem classificar as argamassas segundo classes de resistência à compressão. Enquanto a DIN [4] apresenta classes para valores de resistências superiores ou iguais a 2 N/mm², a NP EN 998-2 [14] permite classificar a partir de resistências de 1 N/mm². A NP EN 998-2 [14] apresenta um maior número de classes e com valores superiores aos da DIN [4] permitindo assim classificar uma maior gama de resistências.

A NP EN 998-2 [14] define que o ensaio de resistência inicial ao corte deve ser realizado de acordo com a norma EN 1052-3 [8], tal como referido também pela DIN 18946 [4].

Como definido em 2.5. a norma DIN [4] permite classificar as argamassas de acordo com classes de resistência ao corte. A NP EN 998-2 [14] não permite este tipo de classificação, apresentando apenas dois requisitos tendo em conta o tipo de utilização da argamassa: 0,15 N/mm² para argamassas de uso geral e 0,30 N/mm² para argamassas em camada fina.

Os requisitos da NP EN 998-2 [14] quanto à resistência inicial ao corte são superiores aos da norma alemã [4], garantindo que as argamassas industriais têm de apresentar maiores resistências mínimas.

3.4. Resistência à difusão de vapor de água e condutibilidade térmica

De acordo com a EN NP 998-2 [14], a permeabilidade ao vapor de água para argamassas de assentamento pode ser obtida através do valor tabelado que consta do Quadro A12 da norma EN 1745 [16]. A resistência à difusão de vapor resulta do quociente entre a permeabilidade ao vapor de água do ar e a permeabilidade ao vapor de água da argamassa de assentamento.

Verifica-se, assim, que de acordo com ambas as normas [4, 14] é possível obter o fator de resistência à difusão de vapor sem necessidade de ensaio. A norma DIN [4] refere ainda a possibilidade de ensaiar a argamassa quanto à resistência à difusão de vapor de água de acordo com a norma EN ISO 12572 [9]; porém a NP EN 998-2 [14] não faz referência a essa possibilidade.

Quanto à condutibilidade térmica, a NP EN 998-2 [14] define que se pode obter um valor tabelado de acordo com o Quadro A12 da EN 1745 [16] ou através de um ensaio realizado com base na mesma norma. Como referido em 2.6. a norma DIN [4] define que a condutibilidade apenas deve ser obtida através de um ensaio realizado de acordo com a norma DIN V 4108-4 [11].

3.5. Resistência ao fogo

Ambas as normas [4, 14] estabelecem que argamassas de assentamento contendo no máximo 1% em massa ou volume (adota-se valor maior) de materiais orgânicos homogeneamente distribuídos são classificadas como sendo da classe A1 sem realização de ensaio.

Caso o teor de materiais orgânicos seja superior a 1%, a NP EN 998-2 [14] define que a argamassa deve ser ensaiada e classificada de acordo com a norma EN 13501-1 [17], enquanto a norma DIN [4] refere que o ensaio e classificação devem ser realizados de acordo com as normas alemãs DIN 4102-1 [12] e DIN 4102-4 [13].

As normas NP EN 998-2 [14] e DIN 18946 [4] definem, assim, o ensaio e classificação da resistência ao fogo de argamassas de assentamento através de normas diferentes; no entanto, o fator que determina a necessidade de realização de ensaio e classificação é de 1% para ambas as normas. E este valor não é ultrapassado pela maioria das argamassas de terra ou de ligantes minerais correntes.

4. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

4.1. Argamassas e provetes

Com o objetivo de avaliar alguns procedimentos de ensaio e requisitos das normas [4, 14] foi produzida em condições controladas de laboratório na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa (FCT-NOVA), uma argamassa de assentamento de terra estabilizada formulada com 50% de solo local da Caparica (solo muito siltoso), 50% de areão e 5% de cimento Portland CEM II 32,5N.

Os constituintes foram colocados num recipiente e procedeu-se à sua mistura contínua com recurso a um misturador elétrico de pás, introduzindo-se água na mistura até se atingir a consistência desejada.

A argamassa foi caracterizada no estado fresco e foram produzidos provetes prismáticos de argamassa em moldes metálicos com 40x40x160 [mm] e provetes circulares em moldes de PVC com 90mm de diâmetro e 20mm de espessura sobre uma base impermeável.

De modo a avaliar a influência do tipo de cura, foram colocados seis provetes prismáticos e três provetes circulares em condições de cura *standard* ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura e $65\pm 5\%$ de HR) e outros tantos em condições de cura húmida ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura e $90\pm 5\%$ de HR).

4.2. Procedimentos de ensaio adotados

Na caracterização no estado fresco da argamassa foi determinada a consistência por espalhamento (Fig.1, esquerda) segundo a EN 1015-3 [6] mas utilizando uma mesa de espalhamento que não está de acordo com a última versão desta norma, a consistência por penetrómetro (Fig.1, centro e direita) com base na norma EN 1015-4 [18], a massa volúmica segundo a norma EN 1015-6 [19] e o teor de ar de acordo com a norma EN 1015-7 [20].



Figura 1. Ensaio de consistência por espalhamento (esquerda) e ensaio de consistência por penetrómetro (centro e direita)

Quando os provetes prismáticos foram desmoldados observou-se que a retração existente nos moldes era ínfima, podendo ser desprezada.

O ensaio de determinação da massa volúmica aparente da argamassa foi realizado em três provetes prismáticos de cada condição de cura, aos 7 e aos 28 dias, com o auxílio de uma craveira digital e uma balança com precisão de 0,001 g.

O módulo de elasticidade dinâmico (Fig.2, esquerda) foi determinado para seis provetes prismáticos da câmara *standard* (três com 7 dias e três com 28 dias) com base na norma NP EN 14146 [21] através da utilização do equipamento ZEUS Resonance Meter.

A resistência à tração por flexão (Fig.2, centro) foi avaliada de acordo com a norma EN 1015-11

[7], em três provetes prismáticos de cada cura aos 7 e aos 28 dias, com uma máquina de tração Zwick-Rowell Z050 com uma célula de carga de 2 kN.

O ensaio para determinação da resistência à compressão (Fig.2, direita) foi realizado de acordo com a norma DIN 1946 [4] e EN 1015-11 [7], nas doze metades resultantes dos seis provetes do ensaio de resistência à tração por flexão aos 7 e aos 28 dias, com o mesmo equipamento mas uma célula de carga de 50 kN.

A condutibilidade térmica foi determinada com recurso ao equipamento Heat Transfer Analyser ISOMET 2104 em três provetes circulares de cada cura com 28 dias. O ensaio consiste em colocar sobre os provetes a sonda do aparelho com 60 mm de diâmetro; passado algum tempo de estar em contacto com a argamassa, o equipamento fornece o valor da condutibilidade térmica.



Figura 2. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (esquerda); ensaio de resistência à tração por flexão (centro); ensaio de resistência à compressão (direita)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 é possível observar os resultados obtidos na caracterização da argamassa de terra estabilizada no estado fresco. Como referido em 2.2., a DIN 18946 [4] define que a argamassa no estado fresco deve apresentar uma consistência por espalhamento de 175 ± 5 mm e uma massa volúmica superior a $1,2 \text{ kg/dm}^3$. É possível verificar que a argamassa cumpre o exigido pela norma [4] no que diz respeito à massa volúmica. No entanto, apresenta um espalhamento inferior ao limite, podendo ser uma consequência da mesa de espalhamento utilizada, da estabilização com um baixo teor de cimento (a DIN [4] restringe-se a argamassas não estabilizadas) e da preparação não ter sido realizada exatamente como o procedimento definido pela norma em 2.2.

Tabela 4. Caracterização da argamassa de terra estabilizada no estado fresco

ENSAIO NO ESTADO FRESCO	RESULTADO
Consistência por espalhamento [mm]	$157,5 \pm 2,8$
Consistência por penetrómetro [cm]	$1,3 \pm 0,05$
Massa volúmica [kg/dm^3]	1,99

No que diz respeito à retração linear, verificou-se aquando da desmoldagem dos provetes prismáticos que a retração existente era ínfima estando por isso de acordo com a norma [4]. Esta retração tão pouco significativa pode resultar do traço da argamassa e da estabilização com cimento, bem como do baixo teor de água da argamassa e do tipo e teor reduzido de argila da terra.

Na Tabela 5 é possível observar os resultados obtidos na caracterização da argamassa no estado endurecido, através dos ensaios de massa volúmica aparente, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração por flexão, resistência à compressão e condutibilidade térmica.

Tabela 5. Caracterização da argamassa de terra estabilizada no estado endurecido

ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO	7 dias		28 dias	
	Cura húmida	Cura <i>standard</i>	Cura húmida	Cura <i>standard</i>
Massa Volúmica [kg/dm ³]	1,98 ± 0,00	1,91 ± 0,02	1,88 ± 0,03	1,71 ± 0,01
Módulo de Elasticidade [N/mm ²]	-	2354 ± 155	-	2048 ± 81
Resistência à flexão [N/mm ²]	0,64 ± 0,03	0,54 ± 0,02	0,78 ± 0,05	0,61 ± 0,04
Resistência à compressão [N/mm ²]	0,87 ± 0,04	0,94 ± 0,03	1,29 ± 0,02	1,45 ± 0,05
Condutibilidade térmica [W/m.K]	-	-	0,98 ± 0,04	0,69 ± 0,02

Ao analisar os resultados obtidos é possível verificar que, tal como expectável, a cura húmida dos provetes leva a maiores valores de massa volúmica aos 7 e 28 dias, sendo essa diferença ligeiramente mais acentuada aos 28 dias. Segundo o estudo realizado por Cagnon et al. [22] em blocos de terra comprimida, este tipo de materiais apresentam uma elevada capacidade higroscópica adaptando-se a variações de humidade relativa em cerca de 3 a 4 dias. Como se trata de um processo de cura, o teor de água tende a diminuir ao longo do tempo traduzindo-se numa redução da massa do provete. No entanto, visto o processo ocorrer num ambiente de elevada humidade relativa (90±5%), aliado à elevada capacidade higroscópica deste tipo de material, a diminuição do teor de água na argamassa é menor que na cura *standard* implicando uma maior massa volúmica.

Segundo a DIN 18946 [4] a massa volúmica aparente no estado endurecido deve ser avaliada e classificada em condições *standard* de temperatura e humidade relativa. Tendo isso em conta, a argamassa em estudo sujeita a cura *standard* pode ser classificada como pertencente à classe 1,8, uma vez que apresenta valores entre 1,61 e 1,80 kg/dm³.

O módulo de elasticidade dinâmico apenas foi determinado para a argamassa em condições de cura *standard*, visto o maior teor de água da argamassa em condições de cura húmida dificultar a aplicação do método de ensaio. Comparando os resultados obtidos para os 7 e 28 dias verifica-se que, com o aumento do tempo de cura, o módulo de elasticidade diminuiu um pouco, bem como o desvio padrão associado. Este menor valor do módulo aliado a uma menor dispersão de valores deve também resultar da diminuição do teor de água dos provetes devido ao processo de cura.

Analisando os resultados obtidos aos 7 e 28 dias para a resistência à tração por flexão é possível observar que a argamassa em condições de cura húmida apresentou valores de resistência superiores. A maior resistência verificada na argamassa com cura húmida pode ser explicada pelo aumento da ductilidade resultante do maior teor de água.

Os valores resultantes do ensaio de resistência à compressão mostram que, aos 7 e 28 dias, a argamassa em condições de cura *standard* apresentou valores de resistência superiores.

O menor teor de água da argamassa nestas condições de cura leva ao aumento da rigidez e, consequentemente, ao aumento da resistência à compressão. Os resultados obtidos são semelhantes aos do estudo realizado por Gomes et al. [23] que obteve resistências à

compressão aos 7 dias de 0,90 N/mm² para argamassas com um solo de Badajoz estabilizadas com 25% de cal hidráulica natural e aos do estudo realizado por Faria et al [24] que obteve uma resistência à compressão de 1,1 N/mm² para uma argamassa não estabilizada pré-doseada para reboco interior.

De acordo com a DIN 18946 [4], a resistência à compressão deve ser avaliada e classificada em condições *standard* de temperatura e humidade relativa. Tendo isso em conta, a argamassa em estudo sujeita a cura *standard* pode ser classificada como pertencente à classe M0, uma vez que apresenta uma resistência inferior a 2 N/mm². Já de acordo com a NP EN 998-2 [14] será classificada deste ponto de vista como uma argamassa de classe M1.

Um estudo realizado por Mansour et al. [2] refere que tipicamente os materiais de terra apresentam valores de condutibilidade térmica entre 0,62 e 1,48 W/(m.K), dependendo da massa volúmica aparente. Os valores de condutibilidade térmica da argamassa de terra estabilizada (0,69 e 0,98 W/(m.K), para cura *standard* e húmida, respetivamente) são semelhantes aos obtidos por Mansour et al. [2] em blocos de terra não estabilizados, onde para massas volúmicas de 1,72 e 1,89 kg/dm³ foram obtidas condutibilidades térmicas de 0,75 e 1,00 W/(m.K), respetivamente.

Como a argamassa não contém materiais orgânicos, é classificada como sendo não-inflamável (classe A).

6. CONCLUSÕES

No presente documento apresentam-se os principais aspetos da norma alemã de argamassas de assentamento de terra [4], específica para argamassas não estabilizadas, a relação com a norma europeia [14] para argamassas de assentamento e a caracterização de uma argamassa de assentamento de terra estabilizada.

Ao comparar a DIN 18946 [4] com a NP EN 998-2 [14] é possível verificar que as duas normas apresentam a maior parte das propriedades em comum, remetendo na maior parte dos casos para os mesmos procedimentos de ensaio.

O valor de massa volúmica no estado fresco e retração linear por secagem cumprem o estabelecido na norma DIN 18946 [4]. Apresentaram-se as possíveis razões para a consistência por espalhamento ter ficado abaixo do valor imposto pela norma [4]. Devido a essas razões decidiu-se não adicionar mais água de amassadura uma vez que a argamassa apresentava trabalhabilidade considerada suficiente para aplicação no assentamento.

As condições de cura têm influência nas características da argamassa de terra estabilizada. Devido ao elevado potencial higroscópico da terra, a cura em condições de elevada HR traduz-se num maior teor de água, que produz algumas diferenças.

No que diz respeito à massa volúmica no estado endurecido, a argamassa caracterizada pode ser classificada segundo a DIN 18946 [4] como sendo da classe 1,8.

A argamassa em condições de cura húmida apresentou uma maior resistência à tração por flexão devido ao maior teor de água da argamassa que lhe confere uma maior ductilidade.

Em termos de resistência à compressão, a argamassa pode ser classificada de acordo com a norma DIN [4] como sendo da classe M0 e da classe M1 de acordo com a NP EN 998-2 [14]. A argamassa em condições de cura *standard* apresentou uma maior resistência à compressão devido ao menor teor de água traduzir-se numa maior rigidez.

Quanto à condutibilidade térmica, os resultados variam de acordo com o tipo de cura a que a argamassa foi submetida. A argamassa de terra estabilizada em condições de cura com elevada HR apresenta maior massa volúmica, devido ao maior teor de água, levando a uma maior condutibilidade térmica.

Tendo em conta os resultados obtidos na caracterização da argamassa de terra estabilizada, verifica-se que apresenta propriedades interessantes para ser utilizada como argamassa de assentamento. Salienta-se ainda a importância de, à semelhança do que já existe em outros países, como é o caso da Alemanha, se estabelecerem normas nacionais que permitam caracterizar e classificar as argamassas de assentamento de terra e os blocos de terra comprimida produzidos em Portugal.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo apoio ao projecto PTDC/EPH-PAT/4684/2014: DB-HERITAGE - Base de dados de materiais de construção com interesse histórico e patrimonial.

REFERÊNCIAS

- [1] P. Bruno, P. Faria, A. Candeias, and J. Mirão, "Earth mortars from on pre-historic habitat settlements in south Portugal. Case studies," *J. Iber. Archaeol.*, vol. 13, pp. 51–67, 2010.
- [2] M. Ben Mansour, A. Jelidi, A. S. Cherif, and S. Ben Jabrallah, "Optimizing thermal and mechanical performance of compressed earth blocks (CEB)," *Constr. Build. Mater.*, vol. 104, pp. 44–51, 2016.
- [3] DIN 18945: 2013: Earth blocks – Terms and definitions, requirements, test methods (em alemão). NABau: Berlin.
- [4] DIN 18946: 2013: Earth masonry mortar – Terms and definitions, requirements, test methods (em alemão). NABau: Berlin.
- [5] EN 1015-2: 1998: Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. CEN: Brussels.
- [6] EN 1015-3: 1999: Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). CEN: Brussels.
- [7] EN 1015-11: 1999: Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. CEN: Brussels.
- [8] EN 1052-3: 2002: Methods of test for masonry-Part 3: Determination of initial shear strength. CEN: Brussels.
- [9] EN ISO 12572: 2001: Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission properties. CEN: Brussels.
- [10] NP EN 1015-19: 2008: Métodos de ensaio de argamassas para alvenaria - Parte 19: Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas. IPQ: Caparica.
- [11] DIN V 4108-4: 2013: Thermal insulation and energy economy in buildings - Part 4: Hygrothermal design values (em alemão). DIN-Sprachendienst: Berlin.
- [12] DIN 4102-1: 1998: Fire behaviour of building materials and elements - Part 1: Classification of building materials. Requirements and testing (em alemão). DIN-Sprachendienst.

- [13] DIN 4102-4: 1994: Fire behaviour of building materials and elements - Part 4: Overview and design of classified building materials, elements and components (em alemão). DIN-Sprachendienst: Berlin.
- [14] NP EN 998-2: 2010: Especificações de argamassas para alvenarias - Parte 2: Argamassas para alvenarias. IPQ: Caparica.
- [15] EN 1015-10: 1999/A1: 2006: Methods of test for mortar for masonry; Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar. CEN: Brussels.
- [16] EN 1745: 2002: Masonry and masonry products - Methods for determining design thermal values. CEN: Brussels.
- [17] EN 13501-1: 2007: Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests. CEN: Brussels.
- [18] EN 1015-4: 1998: Methods of test for mortar for masonry – Part 4: Determination of consistence of fresh mortar (by Plunger Penetration). CEN: Brussels.
- [19] EN 1015-6: 2006: Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar. CEN: Brussels.
- [20] EN 1015-7: 1998: Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of air content of fresh mortar. CEN: Brussels.
- [21] NP EN 14146: 2006: Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamental). IPQ: Caparica.
- [22] H. Cagnon, J. E. Aubert, M. Coutand, and C. Magniont, "Hygrothermal properties of earth bricks," *Energy Build.*, vol. 80, pp. 208–217, 2014.
- [23] N. D. Gomes, P. Faria, and V. Silva, "Caracterização de argamassas de assentamento e de alvenarias de blocos de terra," in *Argamassas 2014 - 1º Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento*, 2014 (Cd)
- [24] P. Faria, T. Santos, and J. Aubert, "Experimental characterization of an earth eco-efficient plastering mortar," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 28, no. 1, pp. 04015085-1 - 9, 2015.