



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

REBOCOS DE TERRA: INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE GESSO E DA GRANULOMETRIA DA AREIA

José Lima^{1*}, Débora Correia², Paulina Faria³

1: Faculdade de Arquitectura – Universidade de Lisboa
Alto da Ajuda, 1349-055 Lisboa

e-mail: jose.lima.ferreira@gmail.com, web: <http://www.fa.ulisboa.pt/>

2: Departamento de Engenharia Civil - Universidade NOVA de Lisboa
Campus de Caparica, 2829-516 Caparica

e-mail: d.correia@campus.fct.unl.pt web: <http://www.fct.unl.pt/>

3: CERIS – Universidade de Lisboa, e Departamento de Engenharia Civil - Universidade NOVA de Lisboa
Campus de Caparica, 2829-516 Caparica

e-mail: paulina.faria@fct.unl.pt web: <http://www.fct.unl.pt/>

Palavras-chave: Reboco de terra, adição de gesso, granulometria da areia, resistência mecânica, condutibilidade térmica, adsorção de vapor.

Resumo. Este artigo enquadra-se numa investigação em curso, de maior abrangência, referente à caracterização de rebocos realizados com terras argilosas extraídas da bacia sedimentar do Algarve, nas quais prevalece a argila ilítica, que conjuga características vantajosas para a realização de rebocos de terra, nomeadamente reduzida expansibilidade e elevada capacidade de adsorção de vapor de água. Esta característica, por um lado, mitiga a fissuração do reboco durante a secagem, e por outro, potencia o contributo deste tipo de revestimentos para o equilíbrio termo-higrométrico do ambiente interior dos edifícios.

Os resultados obtidos nas campanhas anteriores desta investigação comprovaram a elevada capacidade de adsorção destas terras ilíticas e a sua reduzida expansibilidade, assim como a melhoria do seu desempenho mecânico através de adição de fibras naturais. Neste artigo avalia-se a influência da adição de diferentes quantidades de gesso e da utilização de areias com diferentes granulometrias na formulação de argamassas com a terra ilítica, particularmente na capacidade de adsorção e libertação de vapor de água, assim como no desempenho mecânico e térmico destes rebocos de terra.

Para o desenvolvimento deste estudo foram formuladas seis argamassas com a mesma proporção de terra e areia, sendo três das argamassas formuladas com areias de granulometria distinta, fina, média (considerada de referência) e grossa, e as restantes três argamassas formuladas com a areia de granulometria média e a adição de diferentes quantidades de gesso, 5%, 10% e 20% do volume de constituintes secos.

As argamassas e os respectivos provetes foram preparados e caracterizadas no estado fresco e no estado endurecido de acordo com a norma DIN 18947 e a série de normas EN 1015, nas respectivas partes aplicáveis, assim como outros procedimentos de ensaio, quando também aplicáveis.

Os resultados obtidos não foram conclusivos em relação à avaliação da influência que a utilização de areias com granulometrias distintas pode ter no desempenho das argamassas. Contudo os resultados obtidos foram muito promissores no que respeita à avaliação da influência que a adição de diferentes quantidades de gesso tem no desempenho das argamassas. Foi possível verificar que a adição de gesso pode contribuir de forma significativa para o desempenho mecânico destas argamassas de terra, sendo, cumulativamente, pouco penalizadora da sua capacidade de adsorção e desadsorção.

1. INTRODUÇÃO

As argamassas de terra contribuem para o ciclo de vida sustentável dos edifícios, principalmente devido à sua baixa energia incorporada. Este facto acontece devido ao uso de argila crua como ligante natural, sem que haja necessidade de produção com tratamentos que envolvam calor, bem como à grande disponibilidade de recursos de terra argilosa (que até é um resíduo gerado por escavações), permitindo a mitigação de impactos ambientais provenientes do transporte a longa distância [1]. Outra contribuição das argamassas de terra para o ciclo de vida sustentável dos edifícios advém do facto das argamassas de terra, produzidas sem a adição de qualquer estabilizador químico, como o cimento e a cal, poderem ser facilmente recicladas no seu final de vida, apenas com baixo consumo de energia mecânica para desterroamento e a nova amassadura com adição de água. Além disso, o uso de terra argilosa como material de construção não leva diretamente a qualquer tipo de emissão poluente durante o ciclo de vida do edifício, mitigando desta forma os perigos de contaminação [2].

Devido à alta higroscopicidade dos materiais argilosos [3][4], as argamassas de terra possuem uma elevada capacidade de adsorção e desadsorção de vapor de água, particularmente quando comparadas com outros tipos de argamassas utilizadas para a execução de rebocos interiores [2]. Esta propriedade permite que as argamassas de terra atuem como reguladores de humidade, contribuindo para o equilíbrio da humidade relativa (HR) dos espaços interiores dos edifícios [2][5][6].

Esta capacidade de regulação de humidade dos rebocos de terra promove o conforto e a saúde dos habitantes, visto que um ambiente com HR elevada aumenta o desconforto associado à percepção de frio e calor [7]. Por outro lado, é através do equilíbrio da HR dos espaços interiores que os rebocos de terra contribuem para mitigar alguns problemas de saúde associados, tais como infeções, alergias ou asma, contribuindo ainda para diminuir a probabilidade de irritação das membranas da mucosa e inflamações associadas a ambientes interiores excessivamente secos [8].

Os rebocos de terra podem ainda contribuir para a qualidade do ar interior, visto que a argila pode atuar como acumulador passivo de material, diminuindo as concentrações de ozono interiores e, desta forma, diminuindo também a probabilidade de ocorrência de reações do ozono com outros materiais constituintes do edifício. Esta situação pode levar a menores concentrações de produtos sujeitos a oxidação, que poderiam ser tóxicos e provocar irritação das membranas da mucosa e outros tecidos humanos [9][10].

Apesar do aumento do interesse internacional pelas argamassas de terra, ainda não existem Normas Europeias para este tipo de argamassas. No entanto, na Alemanha, o Deutsches Institut für Normung (DIN), lançou em 2013 a DIN 18947 [11], uma norma nacional especificamente dedicada a argamassas de terra não estabilizadas. Desta forma esta norma tem vindo a ser seguida por diversos estudos científicos vocacionados para a avaliação das propriedades físicas e mecânicas deste tipo de argamassas [12][13][14][15].

Como parte integrante de uma investigação em curso, relacionada com argamassas de terra especificamente formuladas com terra argilosa extraída da bacia sedimentar Algarvia, que revelou um elevado potencial para rebocos interiores [14], no presente estudo basearam-se os procedimentos de ensaio também na norma DIN e pretende-se avaliar o efeito da adição de gesso às argamassas de terra. Uma vez que as argamassas de terra possuem resistências mecânicas reduzidas, é pretendido avaliar se a adição de gesso incrementa estas propriedades sem alterar a capacidade adsorção e desadsorção de vapor de água das argamassas. O estudo pretende ainda avaliar quais as consequências da utilização de areias com diferentes granulometrias, nas propriedades das argamassas.

2. MATERIAIS

O presente trabalho contemplou a caracterização de seis argamassas de terra formuladas com base na mesma terra argilosa, a qual foi extraída de um «barreiro», ainda em atividade, localizado no sector Este da sub-região do «Barrocal» Algarvio. Esta sub-região situa-se na zona mais alta da bacia

sedimentar do Algarve e apresenta grande concentração de solos argilosos. A terra utilizada para este estudo caracteriza-se pela presença de argilas com uma composição mineralógica dominada pela ilite [13], em virtude da sua formação estar associada a um processo geológico de sedimentogenises em ambiente marítimo. O referido «barreiro» enquadra-se num grupo de zonas de exploração de terras argilosas pertencentes a pequenas unidades semi-artesanais de produção de cerâmica tradicional, que se localizam em formações geológicas que remontam ao período Retiano/Hetangiano, na transição do período Triássico para o Jurássico, as quais apresentam uma presença elevada de ilite [16].

A grande concentração de argila ilítica foi o fator chave para a seleção desta terra para o desenvolvimento deste estudo, uma vez que a prevalência da ilite promove nesta terra argilosa uma capacidade elevada de adsorção de vapor de água, combinada com uma expansão reduzida quando humedecida [14]. Estas características devem-se à estrutura cristalina de aluminosilicato da ilite, organizada numa sucessão de camadas de tetraedros/octaedros/tetraedros, cujos espaços intercalares são ocupados essencialmente por cátions de potássio responsáveis pela baixa expansibilidade [3][4]. Estas propriedades têm importância significativa para a realização de rebocos interiores uma vez que maximizam a capacidade dos rebocos atuarem como reguladores de humidade do ambiente interior e, ao mesmo tempo, mitigam a ocorrência de fissuração em função da reduzida retração da argamassas durante a fase de secagem, o que facilita a aplicação em obra e potencia a adequação deste tipo de argamassas como solução de revestimento interior.

Após ser extraída, a terra argilosa foi seca, desagregada e passada previamente pelo peneiro com malha de 2 mm de forma a eliminar partículas de dimensão superiores. A distribuição da dimensão das partículas da terra argilosa obtida foi analisada através de peneiração seca, de acordo com o procedimento indicado na norma EN 1015-1 [17], sendo a respectiva curva de distribuição apresentada na Figura 1.

Para a formulação das argamassas analisadas no presente estudo foram consideradas três areias siliciosas com granulometrias distintas. A areia de granulometria mais fina, designada de SF (Sand Fine), foi extraída de um areeiro localizado em Mesquita, na região de Sesimbra. A areia de granulometria intermédia, selecionada como areia de referência recebeu a designação de S (Sand) e foi extraída de um areeiro localizado em Santiago do Cacém, na região de Sines. Por fim a areia de granulometria mais grosseira, que recebeu a designação de SC (Sand Coarse), foi extraída de um areeiro localizado perto de Pinhal do Conde da Cunha, na zona da Amora, a Sul do rio Tejo.

Todas as areais foram previamente passadas pelo peneiro com malha de 4,75 mm, de forma a eliminar partículas com dimensões superiores. A distribuição granulométrica das areias referidas foi também analisada através de peneiração seca, de acordo com o procedimento indicado na norma EN 1015-1 [17], sendo as respectivas curvas de distribuição apresentadas na Figura 1.

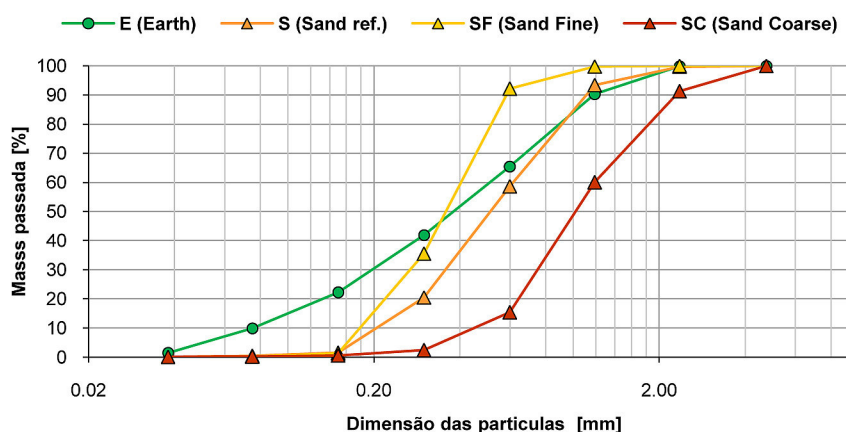


Figura 1. Curva granulométrica da terra argilosa a seco e das areias utilizadas nas formulações

Para a avaliação do eventual contributo da adição de diferentes quantidades de gesso à formulação de referência destas argamassas de terra foi utilizado um gesso hemihidratado não aditivado, composto por sulfato de cálcio natural, de cor branca produzido e comercializado pela empresa SIVAL. Este gesso destina-se a aplicação manual, sendo recomendado para a execução de estuques em paredes e tectos pelo método tradicional. É comercializado na forma de pó micronizado (resíduos nos peneiros: $500\mu\text{m} \leq 0,10\%$; $300\mu\text{m} \leq 0,65\%$) encontrando-se pronto a ser utilizado por amassadura mecânica com água na proporção de um litro de água para 1,45 kg de gesso [18].

3. FORMULAÇÃO DE ARGAMASSAS E CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO FRESCO

As seis argamassas foram formuladas com a mesma proporção de terra e areia, ao traço volumétrico 1:3. A formulação considerada como referência foi designada por E1S3, realizada com a areia S, de granulometria intermédia (areia de referência). As argamassas E1S3_G5, E1S3_G10 e E1S3_G20 compreenderam a adição de diferentes percentagens de gesso, respectivamente, 5%, 10% e 20%, calculadas em relação ao volume total de terra e areia. As argamassas E1SF3 e E1SC3 foram realizadas, respectivamente, com recurso à areia SF, de granulometria mais fina, e à areia SC, de granulometria mais grossa.

Para a preparação e mistura das argamassas, bem como para a sua caracterização no estado fresco, foi seguida a norma DIN 18947 [11]. Esta norma prevê um procedimento de preparação para as argamassas de terra que compreende um primeiro período de 60 s de amassadura mecânica, que inclui o período de tempo inicial de colocação da água na cuba da amassadora com esta em funcionamento, seguido de um período de 5 min de descanso da argamassa, finalizando com mais um período de 30 s de amassadura mecânica. Excepcionalmente, para a possibilitar realização das argamassas com adição de gesso, foi necessário adaptar este procedimento, suprimindo o período intermédio de 5 min de descanso da argamassa, em virtude do gesso apresentar um tempo de presa muito reduzido (entre 10 a 15 min).

As argamassas foram preparadas considerando o mínimo de água necessário de forma a apresentarem boa trabalhabilidade e valores de consistência por espalhamento de acordo com os limites definidos pela norma DIN 18947 [11], respectivamente 175 ± 5 mm, aferidos segundo a norma EN 1015-3 [19]. A Tabela 1 apresenta as formulações das argamassas em termos dos rácios volumétricos e mássicos dos materiais constituintes, assim como os resultados obtidos em termos de massa volúmica no estado fresco e consistência por espalhamento.

Tabela 1. Composição e caracterização das argamassas no estado fresco.

Argamassas	Rácios Volumétricos				Rácios Mássicos				Massa Volúmica	Consistência Espalhamento
	Terra [%]	Areia [%]	Gesso [%] ^(a)	Água [%] ^(a)	Terra [%]	Areia [%]	Gesso [%]	Água [%] ^(b)		
E1S3	25,0	75,0	-	19.6	21.6	78.4	-	12.8	2130.7	173.2
E1S3_G5			5,0	20.4	21.2	76.7	2.1	13.1	2073.9	168.8
E1S3_G10			10,0	22.1	20.7	75.2	4.1	13.9	2086.8	164.0
E1S3_G20			20,0	24.5	19.9	72.2	7.9	14.9	2077.4	174.3
E1SF3			-	24.6	22.6	77.4	-	16.9	2018.8	173.2
E1SC3			-	21.3	22.3	77.7	-	14.4	2094.3	173.2

(a) – Percentagem de volume adicionado em relação ao volume total de terra e areia

(b) – Percentagem de massa adicionada em relação à massa total dos restantes materiais constituintes

4. CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO ENDURECIDO

Com cada argamassa foram executados provetes prismáticos em moldes metálicos, de dimensões 40 mm x 40 mm x 160 mm, e provetes circulares em anéis de plástico com diâmetro de 90 mm e espessura de 20 mm. Foram também realizados provetes através da aplicação de uma camada de argamassa, com 20 mm de espessura, sobre tijolos furados com dimensão de 295 mm x 195 mm e ainda provetes planares com 1000 cm² de área de superfície (500 mm x 200 mm), com espessura de 15 mm. As argamassas foram caracterizadas à idade mínima de 32 dias em termos de retração linear, avaliando a variação dimensional do comprimento dos provetes prismáticos, desde a sua moldagem, massa volúmica aparente por aferição geométrica de dimensões e avaliação da massa, com base na EN 1015-10/A1 [20], condutibilidade térmica através de um equipamento ISOMET 2104 (com sonda de contacto API 210412 Ø60mm), resistência à tração por flexão e à compressão com base na EN 1015-11[21], aderência ao suporte com base na EN 1015-12 [22], resistência à abrasão a seco com uma escova de dureza média [13], coesão superficial, e capacidade de adsorção e desadsorção de vapor de água.

A caracterização no estado endurecido das seis argamassas seguiu igualmente a norma DIN 18947 [11] assim como a serie de normas EN 1015, nas respectivas partes aplicáveis [20][21][22]. Para o ensaio de coesão superficial foi seguido o procedimento proposto por Drdácý et al. [23] e Faria et al. [13], sendo a coesão superficial determinada através da aferição do incremento de massa de uma fita adesiva com 50 mm x 50 mm, após esta ser aplicada sobre a superfície dos provetes realizados sobre tijolos furados, e submetida a uma pressão com intensidade constante durante um determinado período de tempo. O aumento de massa da fita adesiva é determinado pela quantidade de partículas de argamassa que se encontram aderidas à fita após esta ser removida da superfície da argamassa.

O ensaio de adsorção e desadsorção de vapor de água foi realizado de acordo o procedimento definido na norma DIN 18947 [11], com os provetes planares em moldes metálicos por forma a garantir que a adsorção e desadsorção de vapor apenas ocorra através da face superior exposta do provete. Os provetes foram estabilizados numa câmara climática na condição de 23°C e 50% de humidade relativa (HR). Após a estabilização dos provetes a condição da câmara foi alterada para 80% HR, dando-se início à fase de adsorção. Os provetes foram pesados nos intervalos definidos na norma DIN 18947 [11], respectivamente, 0,5h, 1h, 3h, 6h, 12h, tendo esta fase do ensaio sido estendida até às 24h, de modo a permitir uma melhor compreensão do comportamento de adsorção dos provetes. Após as 24h, os provetes foram novamente pesados e a condição da câmara climática foi alterada para 50% HR, dando-se início à fase de desadsorção que se prolongou também por 24h e durante a qual foram seguidos os mesmos intervalos de tempo anteriormente mencionados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As seis argamassas avaliadas neste estudo apresentam retração linear reduzida (Figura 2), sempre inferior a 1%, o que está em concordância com a baixa expansibilidade da terra argilosa utilizada, a qual apresenta mineralogia com prevalência de ilite.

De entre as três argamassas com adição de gesso, todas realizadas com a areia de referência, as formulações com adição de 5% e 10% de gesso apresentam retração linear de 0,7%, ligeiramente inferior à argamassa de referência (0,8%), enquanto que a formulação com adição de 20% de gesso apresenta uma redução significativa da retração linear (0,2%), o que sugere que nesta formulação a expansibilidade do gesso adicionado conseguiu compensar, quase na totalidade, a capacidade de retração da terra argilosa.

Das duas argamassas realizadas com areias de granulometrias distintas da argamassa de referência, é possível observar que ambas apresentam retração linear muito reduzida ($\leq 0,2\%$), sendo mesmo praticamente inexistente no caso da argamassa E1SC3, realizada com areia de granulometria grossa. No entanto estes resultados não são esclarecedores, uma vez que não é possível observar correlações entre a retração linear das argamassas e a variação da granulometria das areias, ou a concentração de terra argilosa nas formulações, ou ainda com a quantidade de água adicionada (Tabela 1), factores que expectavelmente influenciam a retração linear das argamassas.

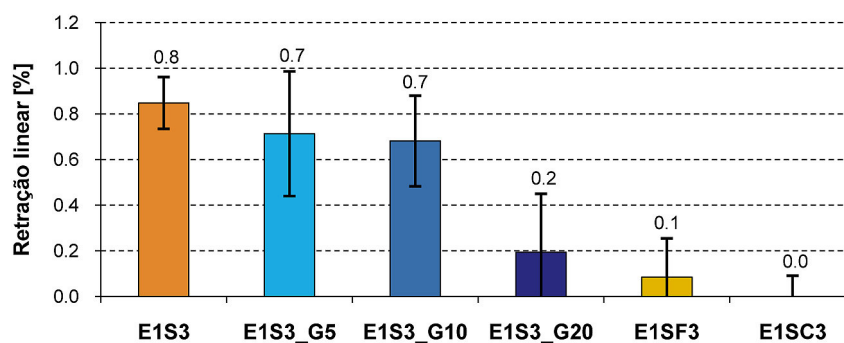


Figura 2. Retração linear

Relativamente à massa volúmica aparente (Figura 3) verifica-se que as seis argamassas apresentam valores semelhantes, os quais, com excepção do valor obtido pela argamassa E1SF3, enquadra-se na classe de massa volúmica 2.0 (de $1,81 \text{ kg/dm}^3$ a $2,00 \text{ kg/dm}^3$) definida na norma DIN 18947 [11]. A argamassa E1SF3, realizada com areia de granulometria fina, é a única formulação a enquadrar-se na classe imediatamente inferior, a classe de massa volúmica 1,8 (de $1,61 \text{ kg/dm}^3$ a $1,80 \text{ kg/dm}^3$) definida na mesma norma.

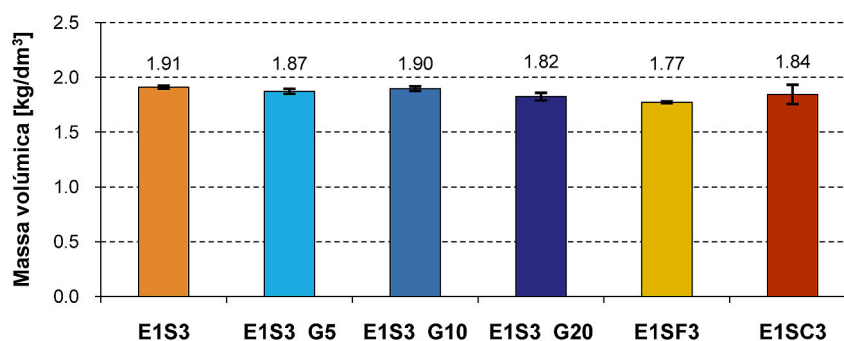


Figura 3. Massa volúmica aparente

Os resultados do ensaio de condutibilidade térmica (Figura 4) evidenciaram que as argamassas com adição de 5% e 10% de gesso apresentam um ligeiro aumento da condutibilidade térmica em relação à argamassa de referência. Estes resultados não eram esperados uma vez que o gesso é um material que usualmente apresenta condutibilidade térmica inferior às argamassas de terra [24].

Contudo, é possível observar que o incremento da adição de gesso promove a redução da condutibilidade térmica, chegando a argamassa com maior adição de gesso (20%) a apresentar condutibilidade térmica ligeiramente inferior à argamassa de referência. Esta influência do incremento da adição de gesso na condutibilidade térmica é coerente com o facto das argamassas de gesso apresentarem condutibilidade térmica inferior às argamassas de terra [24].

No que respeita às argamassas realizadas com areias de granulometrias distintas da argamassa de referência, pode observar-se que a argamassa E1SF3, realizada com areia de granulometria fina, apresenta condutibilidade térmica ligeiramente inferior à argamassa de referência, enquanto a argamassa E1SC3, realizada com areia de granulometria mais grossa, apresenta condutibilidade térmica ligeiramente superior à argamassa de referência. Estes resultados sugerem que o aumento da dimensão das partículas da areia promove o aumento ligeiro da condutibilidade térmica.

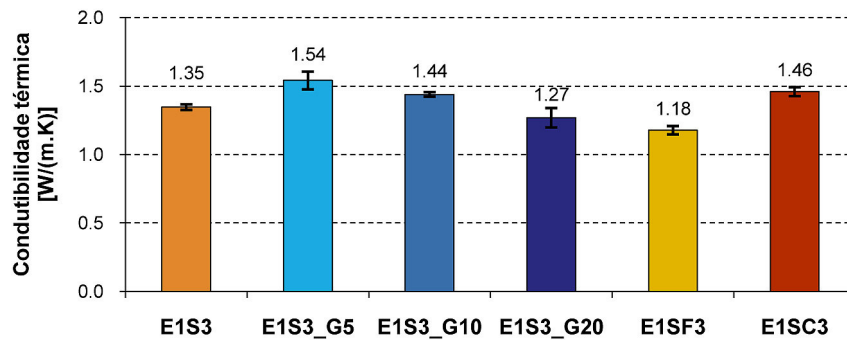


Figura 4. Condutibilidade térmica

Os resultados dos ensaios de resistência mecânica (Figura 5) evidenciaram que a adição de gesso, e o seu incremento, promovem o aumento significativo da resistência à compressão e da resistência à tração por flexão das argamassas. Este contributo do gesso para o incremento de resistência das argamassas de terra é coerente com o facto de ser expectável que as argamassas de gesso apresentem resistência mecânica superior às argamassas de terra. No entanto, não é observada a melhoria da sua aderência ao suporte.

Por seu turno a substituição da areia da argamassa de referência por areias de granulometrias distintas – mais fina no caso da argamassa E1SF3 e mais grossa no caso da argamassa E1SC3 – não se revelou vantajosa para o desempenho mecânico das argamassas, sendo particularmente prejudicial em termos aderência ao suporte para a argamassa E1SF3.

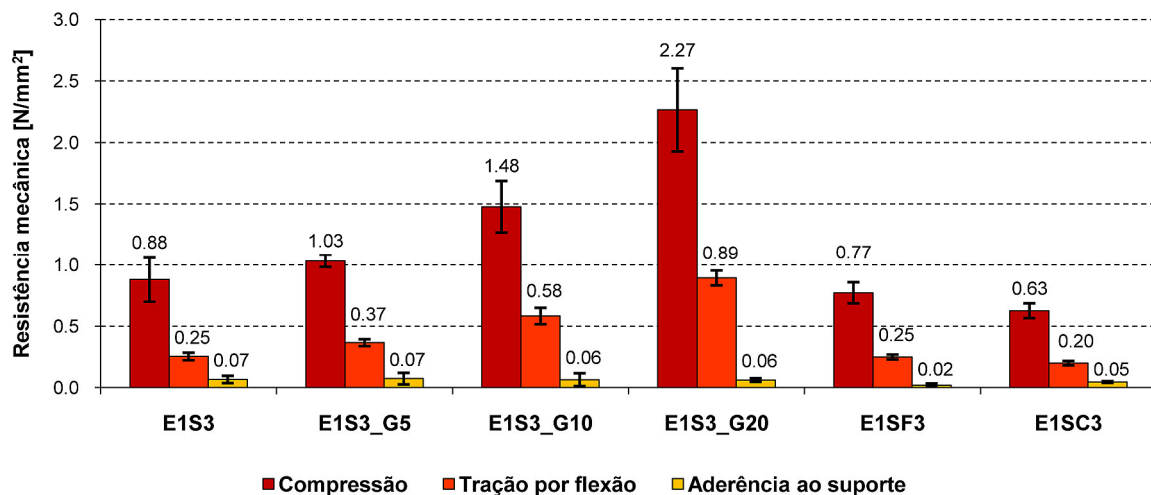


Figura 5. Resistência à tração por flexão, resistência à compressão e aderência ao suporte

Considerando as classes de resistência mecânica definidas na norma DIN 18947 [11], apresentadas na Tabela 2, observa-se que a argamassa de referência E1S3, no que respeita à resistência à compressão e resistência à tração, não atinge os requisitos definidos para a classe inferior de resistência mecânica (S-I), embora apresente para estes dois parâmetros valores próximos dos limites mínimos desta classe. É ainda de salientar que esta argamassa atinge o limite mínimo de resistência definido para o parâmetro de aderência ao suporte.

A argamassa E1S3_G5, com adição de 5% de gesso, supera ligeiramente os limites mínimos de resistência à compressão e resistência à tracção definidos para a classe S-I, enquanto a argamassa E1S3_G10, com adição de 10% de gesso, encontra-se próximo dos limites máximos de resistência definidos para a mesma classe S-I. No que respeita à argamassa E1S3_G20, com adição de 20% de gesso, observa-se que os resultados obtidos enquadram-se já claramente na classe mais elevada de resistência mecânica (S-II), com excepção do parâmetro de aderência ao suporte o qual se enquadra na classe inferior de resistência mecânica (S-I).

Como mencionado anteriormente, as argamassas E1SF3 e E1SC3, realizadas, respetivamente com areias de granulometrias fina e grossa, apresentam valores de resistência mecânica inferiores à argamassa de referência, pelo que, tal como esta, não atingem os requisitos mínimos definidos para a classe inferior de resistência mecânica da norma DIN 18947 [11], com excepção do parâmetro de aderência ao suporte da argamassa E1SC3 que atinge o limite mínimo definido.

Tabela 2. Classes de resistência mecânica definidas na norma DIN 18947

Classe de resistência mecânica	Resistência à compressão [N/mm ²]	Resistência à tração por flexão [N/mm ²]	Aderência ao suporte [N/mm ²]
S-I	≥ 1,0	≥ 0,3	≥ 0,05
S-II	≥ 1,5	≥ 0,7	≥ 0,10

O ensaio de resistência à abrasão a seco, cujos resultados são apresentados na Figura 6, revelou que as três argamassas com adição de gesso, respectivamente, E1S3_G5, E1S3_G10 e E1S3_G20, apresentam valores de perda de massa por abrasão significativamente inferiores à argamassa de referência E1S3, enquadrando-se as três argamassas na classe mais elevada de resistência à abrasão (S-II) definida na norma DIN 18947 [11], a qual prevê uma perda de massa por abrasão ≤ 0,7 g. É também possível observar que a resistência à abrasão destas argamassas aumenta com o incremento da adição de gesso, o que está em concordância com o anteriormente descrito para a resistência mecânica destas argamassas.

Em relação à influência da areia na resistência à abrasão é possível observar que a argamassa de referência E1S3 e a argamassa E1SC3, realizada com areia grossa, apresentam valores de abrasão que se enquadram na classe inferior de resistência à abrasão (S-I) definida na norma DIN 18947 [11], a qual prevê uma perda de massa por abrasão ≤ 1,5 g. No entanto, a argamassa E1SF3, realizada com areia fina, apresenta resistência à abrasão muito inferior, não atingindo sequer o limite mínimo da classe inferior de resistência à abrasão definida na norma DIN 18947 [11]. Estes resultados não são coerentes com os resultados obtidos por estas argamassas no ensaio de resistência mecânica, sendo necessário desenvolver mais investigação neste domínio.

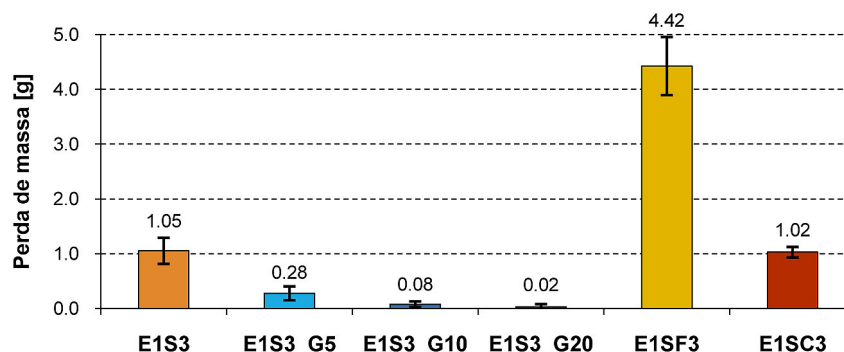


Figura 6. Resistência à abrasão

À semelhança do anteriormente descrito para o ensaio de resistência à abrasão, também os resultados do ensaio de coesão superficial (Figura 7) revelaram que a adição de gesso, e o seu incremento, promove a coesão superficial das argamassas observando-se menor perda de massa. Também como mencionado para o ensaio de resistência à abrasão estes resultados são coerentes com os resultados de resistência mecânica obtidos por estas argamassas com adição de gesso.

Contudo, os resultados de coesão superficial obtidos pelas argamassas realizadas com areias de granulometria distinta da argamassas de referência não são tão claros. Por um lado não se observa uma relação entre a variação da granulometria e a coesão superficial, uma vez que para tal a argamassa de referência E1S3 deveria apresentar um valor de coesão superficial intermédio em relação aos valores apresentados pelas argamassas E1SF3 e E1SC3, o que não acontece. Por outro lado não se verifica coerência com os resultados do ensaio de resistência à abrasão, no qual a argamassa E1SF3 (areia fina) obteve o resultado mais desfavorável, o que neste ensaio coube à argamassa E1SC3 (areia grossa), embora seja de salientar o elevado desvio padrão registado. É no entanto possível estabelecer alguma relação entre estes resultados e os resultados do ensaio de resistência mecânica, no qual a argamassa E1SC3 obteve também a menor resistência mecânica. Também neste tema entende-se ser necessário desenvolver mais investigação.

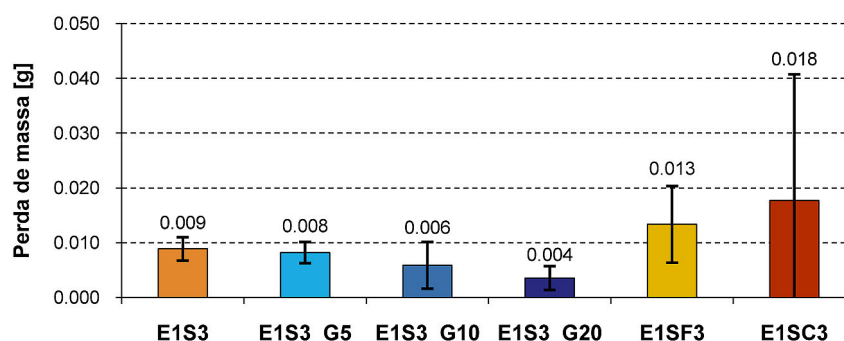


Figura 7. Coesão superficial

Os resultados do ensaio de adsorção e desadsorção de vapor (Figura 8) evidenciaram a elevada capacidade de adsorção e desadsorção das argamassas de terra argilosa utilizadas neste estudo, sendo coerentes com os resultados anteriormente obtidos [14] referentes à caracterização de argamassas realizadas com diferentes rácio volumétricos da mesma terra ilítica.

De acordo com as classes de adsorção de vapor definidas na norma DIN 18947 [11], cujos limites se encontram assinalados na Figura 8, verifica-se que a argamassa de referência E1S3 e as duas argamassas realizadas com diferentes areias, E1SF3 e E1SC3, se enquadram na classe de adsorção mais elevada (WS-III), atingindo valores de adsorção de vapor às 12 h superiores a 60,0 g/m². Em relação a estas três argamassas é possível ainda observar que a argamassa E1SF3 (areia fina) apresenta um aumento da capacidade de adsorção de vapor em relação à argamassa de referência E1S3, tendência que é acompanhada também pela argamassa E1SC3 (areia grossa) mas de forma menos significativa. Estes resultados estão em concordância com a concentração de terra argilosa presente na formulação das argamassa (Tabela 1) e são novamente coerentes com os resultados anteriormente obtidos [14].

As restantes argamassas, E1S3_G5, E1S3_G10 e E1S3_G20, com adição de diferentes quantidades de gesso, apresentam valores de adsorção e desadsorção inferiores à argamassa de referência, mas ainda assim enquadrados na segunda classe de adsorção de vapor definida na norma DIN 18947 [11] (classe WS-II: adsorção de vapor às 12 h $\geq 47,5$ g/m²). Neste conjunto de argamassas pode ainda observar-se que o incremento da quantidade de adição de gesso reduz a capacidade de adsorção de vapor, embora de forma pouco significativa. Esta redução da capacidade de adsorção encontra-se também em concordância com a concentração de terra argilosa presente na formulação destas

argamassas (Tabela 1), cuja variação é obviamente proporcional à variação do incremento da quantidade de gesso. Este dado sugere que a presença do gesso não interfere quimicamente com a capacidade de adsorção da argila presente na terra utilizada.

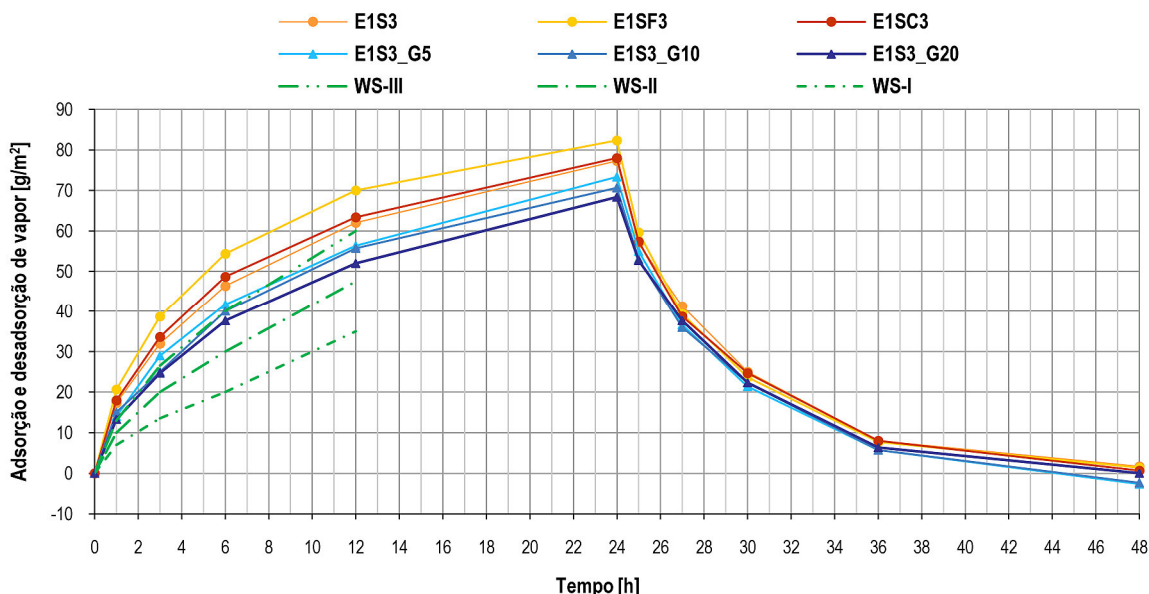


Figura 8. Adsorção e desadsorção de vapor de água

6. CONCLUSÕES

No âmbito da avaliação da influência da granulometria da areia no desempenho das argamassas realizadas com terras ílticas, os resultados obtidos neste estudo não foram conclusivos. Apenas no parâmetro da condutibilidade térmica foi possível observar que o aumento da dimensão das partículas das areias promoveu o incremento ligeiro desta propriedade da argamassa. Em todos os restantes parâmetros de caracterização analisados não foi possível observar correlações, ou tendências relevantes, pelo que considera-se necessário desenvolver mais investigação no sentido de esclarecer a influência que a granulometria da areia pode ter no desempenho das argamassas de terra.

No que concerne à avaliação da influência da adição de diferentes quantidades de gesso à formulação das argamassas realizadas com uma terra íltica, os resultados obtidos nesta investigação são promissores. A adição de gesso, nas argamassas de terra analisadas, verificou-se vantajosa, melhorando substancialmente o seu desempenho mecânico, nomeadamente a resistência à compressão e a resistência à tracção por flexão. A adição de apenas 5% de gesso possibilita que a argamassa de referência utilizada neste estudo passe a cumprir os limites mínimos da classe de resistência S-I definida na norma DIN 18947 [11], enquanto que a adição de 20% de gesso permite superar os requisitos da classe de resistência S-II, a mais elevada da referida norma. A adição de gesso revelou-se ainda vantajosa em termos da redução da retração linear das argamassas, assim como no incremento da sua resistência à abrasão e coesão superficial.

Cumulativamente a adição de gesso revelou-se pouco penalizadora da capacidade de adsorção e desadsorção das argamassas, observando-se na argamassa com maior adição (20%) uma redução de apenas 16% da capacidade de adsorção às 12 h. Este é um factor da maior importância uma vez que possibilita que as argamassas de terra aditivadas com gesso (o ligante corrente com menor temperatura de produção, e logo de energia incorporada) continuem a dispor de elevada capacidade de adsorção e libertação de vapor de água, podendo assim contribuir de forma significativa para o equilíbrio termo-higrométrico do ambiente interior dos edifícios.

A procura de uma solução para a melhoria do desempenho mecânico das argamassas realizadas com terras ílticas, que simultaneamente não prejudique a sua elevada capacidade de adsorção de vapor, é um aspecto importante para a viabilidade construtiva deste tipo de argamassas, pelo que tem sido investigado pelos autores [14][15], afigurando-se neste momento a adição de gesso como uma das soluções mais eficazes. Sugere-se contudo o desenvolvimento de mais investigação no sentido de avaliar qual a influência de maiores quantidades de adição e eventualmente definir um limite máximo de adição a partir do qual a capacidade de adsorção das argamassa seja significativamente prejudicada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem toda a ajuda prestada pelo Eng.º Vítor Silva nos Laboratórios de Construção do Departamento de Engenharia Civil, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, assim como ao projecto DB-Heritage – Database of building materials with historical and heritage interest (PTDC/EPH-PAT/4684/2014).

REFERÊNCIAS

- [1] P. Melià, G. Ruggieri, S. Sabbadini, G. Dotelli, “Environmental impacts of natural and conventional building materials: a case study on earth plasters”. J. Clean. Prod., 80, pp. 179-186. 2014.
- [2] G. Minke, “Building with earth: design and technology of a sustainable architecture”. Basel: Birkhauser - Publishers for Architecture. 199 p. 2006. ISBN-13: 978-3-7643-7477-8. ISBN-10: 3-7643-7477-2.
- [3] J. Botelho-da-Costa, “Caracterização e constituição do solo”. 1ª edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1973, (7ª edição, 2004). ISBN 972-31-0073-8.
- [4] C. Gomes, “Argilas: o que são e para que servem”. 1ª edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988.
- [5] M. Maddison, T. Muring, K. Kirsimäe, U. Mander, “The humidity buffer capacity of clay-sand plaster filled with phytomass from treatment wetlands”. Build. Environ., 44, pp. 1864-1868. 2009.
- [6] S. Liuzzi, MR. Hall, P. Stefanizzi, SP. Casey, “Hygrothermal behaviour and relative humidity buffering of unfired and hydrated lime-stabilised clay composites in a Mediterranean climate”. Build. Environ., 61, pp. 82–92. 2013
- [7] A. Moret-Rodrigues, A. Canha-Piedade, A. Braga, “Térmica de edifícios”. 1ª edição. Alfragide: Edições Orion, 2009. ISBN 978-972-8620-13-4.
- [8] WHO World Health Organization (2009) “Guidelines for indoor air quality: dampness and mould”. Copenhagen: World Health Organization - Regional Office for Europe. 2009. ISBN 978-92-890-4168-3.
- [9] SP. Lamble, RL. Corsi, GC. Morrison, “Ozone deposition velocities, reaction probabilities and product yields for green building materials”. Atmospheric Environ., 45(38), pp. 6965–6972. 2011.
- [10] EK. Darling, CJ. Cros, P. Wargocki et al., “Impacts of a clay plaster on indoor air quality assessed using chemical and sensory measurements”. Build Environ., 57, pp. 370–376. 2012.
- [11] DIN 18947: 2013: Earth plasters – Terms and definitions, requirements, test methods (em alemão). Berlin: DIN – Deutsches Institut für Normung.
- [12] R. Delinière, JE. Aubert, F. Rojat, M. Gasc-Barbier, “Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mixed clay plaster”. Build. Environ. 80, 2014, pp.11-17. 2014.

- [13] P. Faria, T. Santos, J.E. Aubert, "Experimental characterization of an earth eco-efficient plastering mortar". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28 (1), pp. 04015085-1-9, 2016.
- [14] J. Lima, P. Faria, A. Santos-Silva, "Earthen Plasters Based on Illitic Soils from Barrocal Region of Algarve: Contributions for Building Performance and Sustainability". *Key Engineering Materials*. Vol. 678, pp. 64-77, 2016.
- [15] J. Lima, P. Faria, "Eco-efficient earthen plasters. The influence of the addition of natural fibers. Natural Fibres: Advances in Science and Technology Towards Industrial Applications. From Science to Markets", Fangueiro, Raul, Rana, Sohel (Eds.). Netherlands: Springer, RILEM Book Series Vol. 12, pp. 315-327, 2016.
- [16] G. Manuppella, J. Moreira, J. Grade, A. Moura, "Contribuição para o conhecimento das características das argilas do Algarve". Porto: Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro e Laboratório da D.G.G.M. Tomo 27, pp.59-75, 1985.
- [17] EN 1015-1: 1998 – Methods of test for mortar for masonry - Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis). Brussels: CEN.
- [18] SIVAL (2016, Maio, 7). Ficha técnica de produto: Gesso estuque. [ficheiro PDF]. Disponível em: <http://sival.pt/pt/content/6-catalogos>
- [19] EN 1015-3: 1999 - Methods of test for mortar for masonry; Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). Brussels: CEN.
- [20] EN 1015-10: 1999 - Methods of test for masonry; Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar. Brussels: CEN.
- [21] EN 1015-11: 1999 - Methods of test for masonry; Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. Brussels: CEN.
- [22] EN 1015-12: 2000 - Methods of test for mortar for masonry; Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates. Brussels: CEN.
- [23] M. Drdácý, J. Lesák, K. Niedoba, J. Valach, "Peeling teste for assessing the cohesion and consolidation characteristics of mortar and render surfaces". *Materials and Structures*, 48, pp. 1947-1963, 2015.
- [24] C. Pina-Santos, L. Matias, "ITE 50 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios", 10ª edição,. Lisboa: LNEC.