

ARTIGO

ARGAMASSAS DE TERRA ARGILOSA COM SUBSTITUIÇÃO DA AREIA ADICIONADA POR RESÍDUO DA INDÚSTRIA DA CORTIÇA

Tânia Santos

CERIS, Lisboa e Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, tr.santos@campus.fct.unl.pt

Paulina Faria

CERIS, Lisboa e Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, paulina.faria@fct.unl.pt

Palavras-chave: areia; argamassa; resíduo de cortiça; terra argilosa.

Tema: T3 - Economia Circular

Resumo

Os rebocos feitos com argamassas de terra apresentam diversas vantagens estéticas e para o conforto e saúde dos ocupantes dos edifícios: a elevada capacidade de adsorver e libertar vapor de água, conferida pela higroscopicidade da argila, contribui para a regulação da humidade relativa interior e da temperatura. As argamassas de terra para o assentamento de alvenarias de pedra, por exemplo de xisto, adobe ou BTC, conferem a essas alvenarias um melhor desempenho higratérmico comparativamente a argamassas de outros ligantes, tendo de apresentar comportamento mecânico adequado ao das unidades da alvenaria. Dependente do teor de argila da terra, e para controlar a respetiva retração, as argamassas de terra podem necessitar da adição de areia ou outros agregados.

A utilização de subprodutos e resíduos produzidos noutras indústrias, tais como resíduos cerâmicos, RCD ou biomassas, em argamassas promove um decréscimo na utilização de recursos naturais e a redução dos volumes de resíduos a gerir, promovendo desta forma a economia circular e a diminuição dos impactes ambientais da indústria da construção.

O objetivo do presente estudo é avaliar o efeito da substituição parcial ou total da fração de areia natural adicionada numa argamassa de terra com traço volumétrico 1:3 (terra argilosa:agregado) por um resíduo da indústria corticeira. É analisada a influência da substituição de 25%, 50% e 100% da areia por resíduo de cortiça no estado fresco e nas resistências mecânicas. Verifica-se que a massa volúmica reduz, o que indicia um melhor contributo para o isolamento térmico, mas que aumenta a retração na secagem, o que pode condicionar a aplicação deste tipo de argamassas em rebocos. O módulo de elasticidade dinâmico reduz e as resistências à flexão e à compressão das argamassas aumentam à medida que a percentagem de substituição de areia por resíduo de cortiça aumenta, o que se revela muito positivo nomeadamente para aplicação no assentamento de diferentes tipos de alvenarias.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a consciencialização para as questões ambientais é cada vez mais importante. A sobre-exploração dos recursos disponíveis e os efeitos ambientais negativos são dos principais problemas enfrentados pela indústria da construção, tendo em conta que 10% da

emissão global de dióxido de carbono (CO₂) se deve ao fornecimento de materiais de construção, dos quais o cimento é responsável por aproximadamente 85% (Kappel et al., 2017). Por este motivo é cada vez mais importante a utilização de materiais mais sustentáveis e amigos do ambiente.

A compatibilidade da argamassa de assentamento e/ou reboco com o suporte em que será aplicada é um fator muito importante na escolha da argamassa a aplicar. Uma má escolha poderá provocar graves anomalias devido às diferenças mecânicas e físicas, nomeadamente face à migração do vapor de água entre a argamassa e o suporte com que estará em contacto.

A terra é um dos materiais de construção mais antigos e apresenta diversas vantagens: é natural, não tóxico, de baixo custo, reciclável e reutilizável diretamente (desde que não estabilizada quimicamente), com baixa energia incorporada, baixas emissões de CO₂ e, por isso, com baixo impacto ambiental em comparação com ligantes convencionais (Melià et al., 2014), tais como o cimento, a cal ou o gesso. Os rebocos de terra apresentam vantagens estéticas, devido à pigmentação natural conferida pela terra às argamassas. A higroscopicidade da argila confere aos rebocos de terra elevada capacidade de adsorver e libertar vapor de água, o que contribui para a regulação da humidade relativa no interior dos espaços (Bruno et al., 2017; Cascione et al., 2019; Emiroğlu et al., 2015; Maddison et al., 2009; Maskell et al., 2018; Randazzo et al., 2016). Dessa forma, contribuem para a redução de doenças do foro respiratório e vocal (Lima and Faria, 2016), apresentando assim vantagens para a saúde e conforto dos ocupantes dos espaços em que são aplicados.

Algumas terras são muito ricas em argila, sendo por isso necessário adicionar uma certa quantidade de areia ou de outros agregados para reduzir o seu teor e corrigir a sua granulometria. É positivo que esses agregados sejam resíduos ou subprodutos da indústria. Essas adições têm em vista contribuir para a redução da retração das argamassas de terra (Emiroğlu et al., 2015; Hamard et al., 2013; Stazi et al., 2016) e contribuir para a circularidade na construção, uma vez que promovem um decréscimo na utilização de recursos naturais e a redução da quantidade de resíduos que é necessário gerir e tratar.

Vários estudos avaliaram a influência de vários resíduos e subprodutos da indústria: Palumbo et al. (2016) analisou as propriedades hídricas e térmicas de rebocos de terra com a incorporação de fibras naturais (palha de cevada e miolo de milho); Lagouin et al. (2021) avaliou o efeitos de misturas orgânicas (hexametáfosfato de sódio, amido, fibras, glúten, tanino, ovalbumina e super-plastificante) nas propriedades no estado fresco e mecânicas de rebocos com diferentes tipos de terra; Laborel-Préneron et al. (2016) realizou uma revisão, baseada em 50 principais estudos, sobre a influência de agregados e fibras naturais em materiais com base em terra; Vissac et al. (2017) apresenta a possibilidade de utilização de materiais como fibras fermentadas, catos, aloé-vera, algas, manteiga de *karité*, caseína, entre outros, em construções com terra.

O objetivo do presente estudo é desenvolver e caracterizar argamassas de terra com resíduo da indústria da cortiça e, em função das características obtidas, avaliar o seu potencial para aplicação como reboco ou como argamassa de assentamento em alvenarias (de pedra, como o xisto, de BTC ou de adobe), em construção nova ou na reabilitação e conservação de edifícios antigos. Pretende-se que a adição desse resíduo contribua para reduzir o consumo energético associado à exploração, tratamento e transporte de areias, e à gestão do próprio resíduo. Assim foram produzidas em laboratório quatro diferentes argamassas com traço volumétrico 1:3 (terra argilosa:agregado): uma argamassa (de referência) constituída por terra argilosa e areia siliciosa e as restantes argamassas constituídas por terra argilosa e substituição de 25%, 50% e 100% da areia por resíduo de terra. Estas argamassas foram caracterizadas no estado fresco e endurecido, nomeadamente a sua massa volúmica fresca e aparente, consistência por espalhamento e por penétrómetro, retração linear, módulo de elasticidade dinâmico e resistências à flexão e à compressão.

2. MATERIAIS, ARGAMASSAS E MÉTODOS

2.1. Caracterização dos materiais

Para a formulação das argamassas foi utilizada uma terra argilosa (E) extraída na zona centro de Portugal, disponibilizada pela Saint-Gobain. Após secar ao ar livre, a terra foi previamente desagregada e peneirada para eliminar os grandes torrões. Para corrigir a curva granulométrica da terra argilosa e permitir que esta fosse utilizada como argamassa com retração controlada, foi adicionada uma areia siliciosa (S). De forma a avaliar a influência da substituição de agregado natural por um resíduo nas características das argamassas de terra, foi utilizado um resíduo da preparação da falca da cortiça (partes da cortiça com pequena espessura, proveniente de troncos finos, que não é utilizada para produção de rolhas nem outros produtos à base de cortiça) para o fabrico de aglomerados de isolamento de cortiça. Após a recolha da falca da cortiça dos sobreiros, esta é descarregada na empresa produtora e, junto com a cortiça recolhida, vêm alguns restos de terra e de partículas mais pequenas de madeira e cortiça. Este resíduo de cortiça (CW) foi disponibilizado pela Amorim Cork Insulation (Figura 1a).

A granulometria dos materiais constituintes, apresentada na Figura 1b, foi determinada pela norma EN 1015-1/A1 (1998/2006) pelo método da peneiração a seco. A baridade destes materiais foi determinada com base na NP EN 1097-3 (2002): $0,92 \pm 0,02 \text{ kg/dm}^3$ para a terra argilosa (E), $1,47 \pm 0,00 \text{ kg/dm}^3$ para a areia (S) e $0,34 \pm 0,03 \text{ kg/dm}^3$ para o resíduo de cortiça (CW).

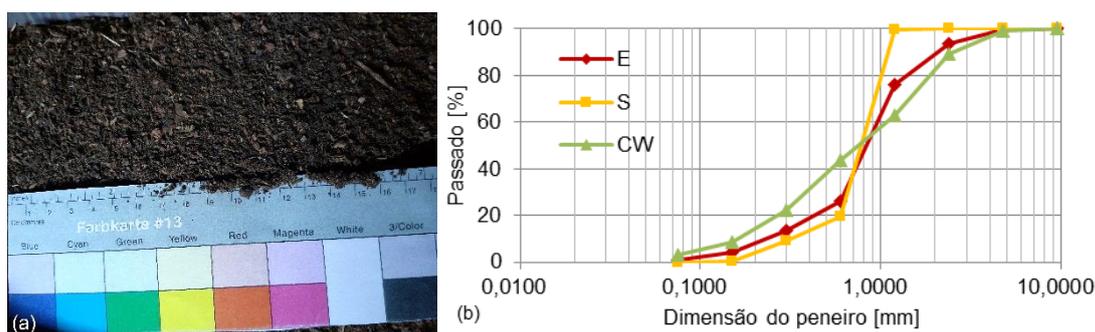


Figura 1. Resíduo de cortiça (a) (crédito: Tânia Santos) e análise granulométrica a seco dos materiais constituintes (E – terra argilosa; S – areia; CW – resíduo de cortiça) (b).

2.2. Preparação das argamassas, caracterização no estado fresco e produção de provetes

Foram produzidas quatro diferentes argamassas de terra formuladas considerando o mesmo traço volumétrico 1:3 (terra argilosa:agregado). Uma argamassa de referência foi preparada com terra argilosa (E) e adição de areia siliciosa (S). As três restantes argamassas foram produzidas com a substituição de 25%, 50% e 100% de areia por resíduo de cortiça (CW). A formulação de cada argamassa (em massa e volume), assim como a relação água/sólidos, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição em massa e em volume das argamassas e relação água/sólidos.

Argamassa	Traço em massa [kg]			Água/Sólidos (Massa) [-]	Traço em volume [L]			Água/Sólidos (Vol.) [-]
	E	S	CW		E	S	CW	
E	1	4,75	-	0,19	1	2,96	-	0,26
E_25CW	1	3,58	0,27	0,23	1	2,23	0,74	0,26
E_50CW	1	2,39	0,53	0,34	1	1,49	1,44	0,31
E_100CW	1	-	1,06	0,73	1	-	2,87	0,36

As argamassas foram produzidas com base na norma DIN 18947 (2018): colocou-se parte da água no recipiente de amassadura; adicionaram-se os sólidos durante 30 segundos com a misturadora em baixa velocidade; alterou-se para a alta velocidade e continuou-se a amassadura por mais 30 segundos, avaliando a necessidade de adicionar mais água para garantir trabalhabilidade; parou-se a amassadura por 5 minutos; misturou-se a alta velocidade por mais 30 segundos. A avaliação da trabalhabilidade das argamassas foi realizada por um técnico experiente.

As argamassas no estado fresco foram caracterizadas através da massa volúmica fresca (EN 1015-6/A1, 1998/2006), da consistência por espalhamento (de acordo com a EN 1015-3/A1/A2 (1999/2004/2006)) e por penetrômetro (EN 1015-4, 1998). O teor de água das argamassas também foi avaliado através da perda de massa de porção de argamassa fresca, após a sua secagem.

Seis provetes prismáticos de 40 mm x 40 mm x 160 mm foram preparados em moldes metálicos: a argamassa foi colocada em duas camadas, que foram compactadas mecanicamente com 20 pancadas por cada camada e manualmente niveladas. Os provetes foram desmoldados quando secos, em condições de laboratório, após 22 dias, e mantidos em condições de laboratório não ventilado, embora se saiba que estas condições não são as mais convenientes para argamassas com biomassas.

2.3. Métodos de ensaio no estado endurecido

O resultado de cada uma das características das argamassas no estado endurecido foi determinada pela média de, pelo menos, três provetes.

2.3.1. Alteração de cor, desenvolvimento de bolores e retração linear

Foi realizada uma avaliação visual da cor, desenvolvimento de bolores e retração no molde nos provetes de cada argamassa.

A retração linear foi depois quantificada pela diferença de comprimento linear do provete prismático entre o estado fresco (dimensão do molde) e endurecido, de acordo com a DIN 18946 (2018) e DIN 18947 (2018).

2.3.2. Massa volúmica aparente

A massa volúmica aparente (MV) foi determinada com base na EN 1015-10/A1 (1999/2006), pelo quociente entre a massa, determinada com precisão de 0,001 g, e o volume geométrico dos provetes, determinado com precisão de 0,01 mm.

2.3.3. Módulo de elasticidade dinâmico e resistência à flexão e à compressão

O módulo de elasticidade dinâmico (E_d) das argamassas foi determinado de acordo com a NP EN 14146 (2006), utilizando o equipamento ZEUS ZRM. A resistência à flexão (F_{Str}) e à compressão (C_{Str}) foi determinada de acordo com a EN 1015-11 (2019), com célula de carga de 2 kN e velocidade de 10 N/s para a resistência à flexão e célula de carga de 200 kN e velocidade de 50 N/s para a resistência à compressão.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização no estado fresco e retração linear

A caracterização no estado fresco das argamassas (teor de água, massa volúmica fresca e consistência por espalhamento e por penetrômetro) é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização das argamassas no estado fresco e retração linear.

Argamassa	Teor de água [%]	Massa volúmica fresca [kg/dm ³]	Espalhamento [mm]	Penetrómetro [mm]	Retração linear [%]
E	18,9±1,1	1,94	143,3	2,8	0,9±0,1
E_25CW	22,5±0,6	1,80	132,8	2,5	2,5±0,5
E_50CW	33,1±1,0	1,58	141,8	2,8	5,1±0,2
E_100CW	75,7±1,4	1,07	120,3	2,4	10,3±0,4

A substituição parcial de areia por resíduo de cortiça promove um aumento no teor de água para manter a trabalhabilidade das argamassas. Contudo, mantêm a consistência por espalhamento de 138±5 mm e por penetrómetro de 2,6±0,2 mm. A substituição total de areia por resíduo de cortiça implica um aumento significativo do teor de água e mesmo assim um decréscimo da consistência por espalhamento e por penetrómetro, para se conseguir uma argamassa igualmente trabalhável. A absorção de água por parte do resíduo de cortiça pode justificar a necessidade de aumentar o teor de água, acompanhando a percentagem de substituição de areia por CW, para manter a mesma trabalhabilidade e consistência das argamassas.

Quanto maior a percentagem de substituição de areia por resíduo de cortiça, menor a massa volúmica das argamassas. Isto deve-se à baixa baridade do resíduo de cortiça (0,34 kg/dm³) face à areia (1,47 kg/dm³).

As normas DIN 18946 (2018) e DIN 18947 (2018), para argamassas de assentamento e de reboco de terra não estabilizada, respetivamente, definem que a consistência por espalhamento deve ser de 175±5 mm, determinada segundo a norma EN 1015-3/A1/A2 (1999/2004/2006). No presente estudo, optou-se por produzir argamassas que revelassem boa trabalhabilidade no manuseamento por técnico experiente, mesmo que não cumprissem o limite definido pela norma, pois dessa forma seria necessário aumentar ainda mais o teor de água, o que iria prejudicar ainda mais a retração das argamassas.

A retração linear calculada é apresentada na Tabela 2. Na Figura 2 é possível observar visualmente que a retração linear e volumétrica dos provetes aumenta com o aumento da percentagem de substituição de areia por resíduo de cortiça. A elevada retração ocorrida nas argamassas compromete a sua aplicação como reboco.



Figura 2. Cores e retração visível nos provetes prismáticos das argamassas de terra (Crédito: Tânia Santos).

As mesmas normas DIN 18946 (2018) e DIN 18947 (2018) definem um limite máximo de 2–2,5% de retração linear para argamassas de terra e de 3–4% quando a argamassa é reforçada com fibras, que se considera ser o caso presente, uma vez que o resíduo contém fibras de madeira. De acordo com a Tabela 2, apenas as argamassas E e E_25CW cumprem o limite definido pelas normas para a retração linear. Desta forma, apenas estas argamassas poderiam ser aplicadas como argamassas de terra para assentamento ou para reboco.

A baixa retração da argamassa de referência (E) poderá estar relacionada com o tipo de argila presente na terra argilosa. Lima et al. (2020) demonstrou que uma terra com argila caulinitica promove baixa retração, com argila ilítica apresenta retração intermédia, enquanto com argila montemorilonitica apresenta uma elevada retração nas argamassas. Contudo, Lima et al. (2020) obteve retração linear de 0,85–3,30% para as argamassas produzidas com os diferentes tipos de argila, ao traço 1:3 de terra e areia. No presente estudo, utilizando a mesma argila de referência em todas as argamassas, a retração linear atinge valores de 10%, o que demonstra que a retração linear pode ser causada pelo resíduo de cortiça e pela falta de agregado com granulometria de areia, e não pelo tipo de argila. Recorda-se ainda que, à medida que o teor de resíduo de cortiça aumenta, aumenta também o teor de água para garantir adequada trabalhabilidade, tendo a argamassa E_100CW um teor de água de 76%.

Santos et al. (2020) estudou a retração linear de uma argamassa de terra apenas com adição de areia formulada em laboratório e de uma argamassa de terra pré-doseada com areia e fibras de palha, com teores de água de 10–15%, tendo obtido uma retração linear de 0,1–0,2%. As argamassas analisadas no presente estudo apresentam retração linear muito mais elevada, o que poderá ser justificado também pelo teor de água utilizado na produção das argamassas. Em estudos futuros deve ser avaliada a influência de mistura prévia com menor teor de água e avaliação das características apenas ao fim de algum tempo.

Pedergrnana and Elias-Ozkan (2021) analisou diferentes argamassas de terra com diferentes tipos de areia e de fibras, com teor de água de 19–59%, e obteve retração linear de 0,42–7,30%. As argamassas de terra analisadas no presente estudo apresentam retração linear dentro desta gama de valores, exceto a argamassa com substituição total de areia por resíduo de cortiça. A elevada retração desta argamassa pode ser justificada pelo elevado teor de água adicionado para garantir trabalhabilidade semelhante às restantes argamassas e, muito provavelmente, a falta de agregado mais grosso como a areia.

3.2. Alteração de cor e desenvolvimento biológico

A substituição parcial ou total de areia por resíduo de cortiça provoca uma alteração na cor da argamassa, conferindo-lhe um tom acastanhado mais escuro, quase preto (Figura 2 e Figura 3a). Quanto maior a percentagem de substituição de areia por resíduo de cortiça, mais se verifica esta alteração de cor. Esta alteração das argamassas terá de ser considerada quando estas argamassas forem pensadas para a aplicação em rebocos não pintados. Quando o campo de aplicação for em argamassas de assentamento de alvenarias de xisto, BTC ou adobe, por exemplo, a cor da argamassa só será relevante quando a alvenaria não for revestida por reboco e/ou pintura. Após a rutura no ensaio de resistência à flexão (resultados apresentados mais à frente) é possível observar a presença do resíduo de cortiça no interior da argamassa, sendo muito notório na argamassa E_100CW (Figura 3a).

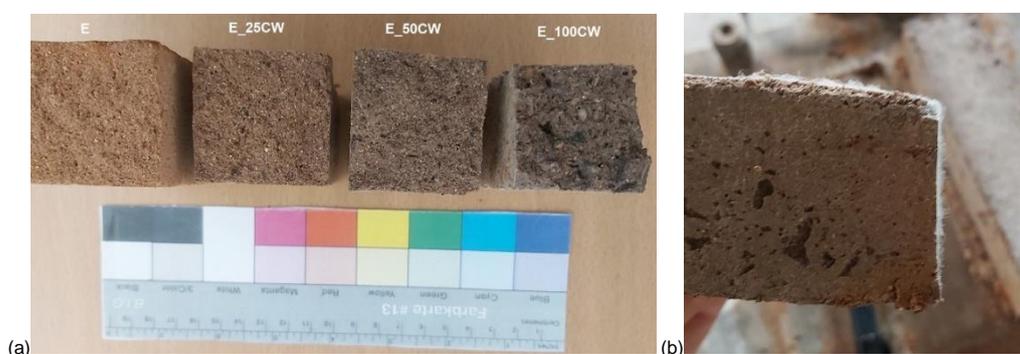


Figura 3. Alteração de cor e observação de resíduo de cortiça nas diferentes argamassas (a) e presença de contaminação biológica num provete da argamassa E_50CW (b) (crédito: Tânia Santos).

Santos et al. (2017a) caracterizou diferentes rebocos de terra com uma terra argilosa de cor chocolate. A variabilidade da cor destas argamassas por adição de pequenos teores de cais,

para maior durabilidade face à água, pode ser considerada uma desvantagem, mas também poderá ser encarada como uma versatilidade.

Nos provetes com resíduo de cortiça (e quanto maior a sua percentagem) é possível observar a presença de contaminação biológica, representada pelas manchas esbranquiçadas nos provetes e, mais em pormenor, na Figura 3b **Error! Reference source not found.**

Santos et al. (2017b) no seu estudo sobre argamassas de terra com diferentes granulometrias de areia (fina e grossa) e adição de fibras de palha e cal aérea, concluiu que adição de pequeno teor de cal aérea (5% em volume total de terra e areia) controlou o desenvolvimento da contaminação biológica. Contudo, esta adição diminuiu a resistência mecânica das argamassas em cerca de 50%.

3.3. Massa volúmica aparente, módulo de elasticidade dinâmico e resistência à flexão e à compressão

A massa volúmica aparente (MV), o módulo de elasticidade dinâmico (Ed) e as resistências à flexão (FStr) e à compressão (CStr) das argamassas analisadas são apresentados na Figura 4.

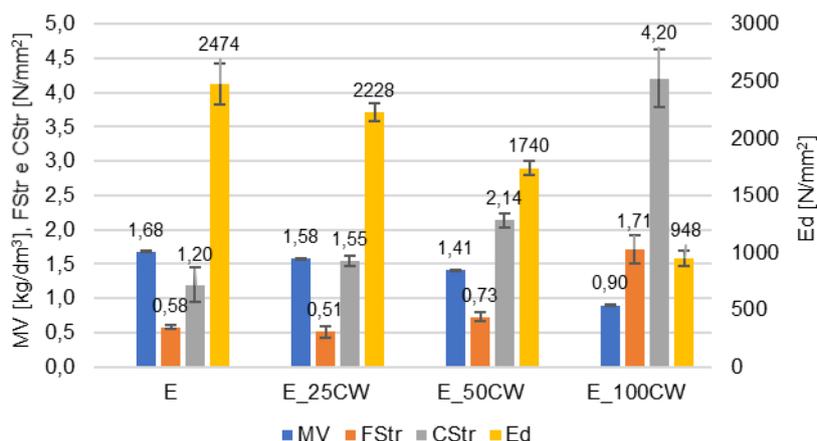


Figura 4. Massa volúmica aparente, módulo de elasticidade dinâmico e resistências à flexão e à compressão das argamassas.

À semelhança do que aconteceu com a massa volúmica fresca, a massa volúmica aparente diminuiu proporcionalmente à percentagem de substituição de areia por resíduo de cortiça. A baixa massa volúmica pode contribuir para a redução da condutibilidade térmica das argamassas, e para o seu maior contributo para o isolamento térmico do elemento onde sejam aplicadas.

As normas DIN 18946 (2018) e DIN 18947 (2018) definem classes de argamassa consoante a massa volúmica aparente das argamassas de terra para assentamento de alvenarias e de reboco, respetivamente. De acordo com as normas, a argamassa E pertence à classe 1.8 (1,61–1,80 kg/dm³), as argamassas E_25CW e E_50CW pertencem à classe 1.6 (1,41–1,60 kg/dm³) e a argamassa E_100CW pertence à classe 0.9 (0,80–0,90 kg/dm³), a classe mais baixa.

A determinação do módulo de elasticidade dinâmico permite obter informações acerca da deformabilidade/rigidez de uma argamassa, sendo importante para conhecer a compatibilidade entre uma argamassa de reparação e uma argamassa existente, e entre uma argamassa e o suporte em que é aplicada. Observando a Figura 4, é possível concluir que, quanto maior a percentagem de substituição de areia por resíduo de cortiça, menor o Ed. Tal indicia uma deformabilidade crescente das argamassas com a substituição pelo resíduo, que será importante para garantir capacidade de acompanhar deformações do suporte.

Por outro lado, quanto maior a percentagem de substituição, maior as resistências à flexão e à compressão das argamassas. A justificação destes resultados, muito positivos, deve estar relacionada com a resiliência das partículas de cortiça presentes no resíduo. Durante a realização do ensaio foi possível observar uma deformação dos provetes com resíduo de cortiça na área de compactação, mais evidente quanto maior a percentagem de resíduo de cortiça. Para além disso, apenas foram verificadas fissuras no ensaio de compressão, não tendo havido uma rotura completa dos provetes de argamassa com resíduo de cortiça.

A norma DIN 18947 (2018) define que as argamassa de terra para reboco devem apresentar FStr mínima de $0,3 \text{ N/mm}^2$ e CStr mínima de $1,0 \text{ N/mm}^2$, enquanto a norma NP EN 998-1 (2017) para rebocos define o valor mínimo de $0,4 \text{ N/mm}^2$ para resistência à compressão e a NP EN 998-2 (2017) para argamassas de assentamento de alvenarias define o valor mínimo de $1,0 \text{ N/mm}^2$. A DIN 18946 (2018), por outro lado, define que as argamassas de terra para assentamento devem apresentar CStr mínima de $2,0 \text{ N/mm}^2$. As argamassas analisadas no presente estudo cumprem os mínimos de resistência definidos para serem aplicadas como argamassas de assentamento e de reboco, exceto as argamassas E e E_25CW que não cumprem o mínimo de CStr definido para a aplicabilidade como argamassa de assentamento, segundo a DIN 18946 (2018).

Santos et al. (2020) no estudo de argamassas de terra (e areia) com e sem adição de fibras naturais obteve FStr de $0,20\text{--}0,25 \text{ N/mm}^2$ e CStr de 1 N/mm^2 , aproximadamente. Relativamente à massa volúmica, os autores obtiveram resultados de $1,77\text{--}1,82 \text{ kg/dm}^3$. As argamassas analisadas no presente estudo apresentam massa volúmica inferior, justificada pela baixa baridade do resíduo de cortiça, e resistências mecânicas mais elevadas, o que deve ser justificado pela resiliência das partículas de cortiça do resíduo utilizado.

No estudo de argamassas de terra com diferentes tipos de agregado e de fibras, Pedernana and Elias-Ozkan (2021) obtiveram FStr de $0,52\text{--}1,60 \text{ N/mm}^2$ e CStr de $0,79\text{--}4,31 \text{ N/mm}^2$. As argamassas caracterizadas no presente estudo apresentaram resistências dentro da gama de valores obtida por estes autores, exceto a FStr da argamassa E_100CW que é ligeiramente superior.

4. CONCLUSÕES

Atualmente é cada vez mais importante procurar formas de utilizar materiais de construção mais amigos do ambiente, mas que mantenham as características necessárias para a função que vão desempenhar nos edifícios. A utilização de subprodutos e resíduos gerados por diferentes indústrias promove a redução da utilização de recursos naturais e de resíduos a gerir e, conseqüentemente, promove uma economia circular e a diminuição de impactes ambientais associados à indústria da construção.

O presente estudo permite retirar diversas conclusões relativamente à substituição parcial ou total de areia por resíduo de cortiça:

- A utilização de resíduo de cortiça promove uma alteração na cor, que deverá ser tida em conta para aplicações à vista.
- A utilização de resíduo de cortiça promove um aumento da retração da argamassa de terra, o que será uma desvantagem quando o campo de aplicação destas argamassas for os rebocos ou o tratamento de juntas à vista; em estudos futuros as argamassas vão ser aplicadas num suporte para validação da retração.
- O desenvolvimento de contaminação biológica é também uma desvantagem da utilização do resíduo de cortiça nas argamassas de terra; para estudos futuros recomenda-se a verificação da influência da ventilação durante a secagem das argamassas. É por este motivo importante que estas argamassas sejam aplicadas num local bem ventilado de forma a controlar o desenvolvimento destes microrganismos.

- A massa volúmica reduz com o aumento da percentagem de substituição de areia por resíduo de cortiça indiciando um melhor contributo das argamassas para o isolamento térmico das paredes onde sejam aplicadas; em estudos futuros vai aferir-se a respetiva condutibilidade térmica.
- O aumento da percentagem de substituição de areia por resíduo de cortiça melhora o comportamento mecânico das argamassas, cumprindo os requisitos para a sua aplicação como reboco e como argamassas de assentamento de diferentes tipos de alvenarias, que podem ficar à vista, tais como de xisto e de BTC, ou serem revestidas, tal como de adobe. A justificação para este aumento de resistência mecânicas, inversamente proporcional ao módulo de elasticidade dinâmico e à massa volúmica, é muito positivo e vai continuar a ser objeto de estudos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bruno, A.W., Gallipoli, D., Perlot, C., Mendes, J. (2017). Effect of stabilisation on mechanical properties, moisture buffering and water durability of hypercompacted earth. *Constr. Build. Mater.* 149, 733–740. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.182>.
- Cascione, V., Maskell, D., Shea, A., Walker, P. (2019). Full-scale simulation of indoor humidity and moisture buffering properties of clay, In: Reddy, B., Mani, M., Walker, Peter (Eds.). *Earthen Dwellings and Structures*. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering. Singapore: Springer. pp. 395–406. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5883-8_34.
- DIN 18946 (2018). *Earth masonry mortar – Terms and definitions, requirements, test methods* (in German). Berlin: DIN.
- DIN 18947 (2018). *Earth plasters – Terms and definitions, requirements, test methods* (in German). Berlin: DIN.
- Emirođlu, M., Yalama, A., Erdođdu, Y. (2015). Performance of ready-mixed clay plasters produced with different clay/sand ratios. *Appl. Clay Sci.* 115, 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.08.005>.
- EN 1015-1/A1 (1998/2006). *Methods of test for mortar for masonry – Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis)*. Brussels: CEN.
- EN 1015-10/A1 (1999/2006). *Methods of test for mortars for masonry – Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar*. Brussels: CEN.
- EN 1015-11 (2019). *Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Brussels: CEN.
- EN 1015-3/A1/A2 (1999/2004/2006). *Methods of test for mortars for masonry – Part 3: Determination of consistency of fresh mortars (by flow table)*. Brussels: CEN.
- EN 1015-4 (1998). *Methods of test for mortar for masonry – Part 4: Determination of consistence of fresh mortar (by pluger penetration)*. Brussels: CEN.
- EN 1015-6/A1 (1998/2006). *Methods of test for mortars for masonry – Part 6: Determination of bulk density of fresh mortars*. Brussels: CEN.
- Hamard, E., Morel, J.C., Salgado, F., Marcom, A., Meunier, N. (2013). A procedure to assess the suitability of plaster to protect vernacular earthen architecture. *J. Cult. Herit.* 14, 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.04.005>.
- Kappel, A., Ottosen, L.M., Kirkelund, G.M. (2017). Colour, compressive strength and workability of mortars with an iron rich sewage sludge ash. *Constr. Build. Mater.* 157, 1199–1205. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.157>.
- Laborel-Préneron, A., Aubert, J.E., Magniont, C., Tribout, C., Bertron, A. (2016). Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review. *Constr. Build. Mater.* 111, 719–734. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119>.
- Lagouin, M., Laborel-Préneron, A., Magniont, C., Geoffroy, S., Aubert, J.E. (2021). Effects of organic admixtures on the fresh and mechanical properties of earth-based plasters. *J. Build. Eng.* 41, 102379. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102379>.
- Lima, J., Faria, P. (2016). Eco-efficient earthen plasters: the influence of the addition of natural fibers. In: Figueiro, R., Rana, S. (Eds.), *Natural Fibres: Advances in Science and Technology towards Industrial Applications*. Dordrecht, Netherlands: Springer, RILEM Bookseries. pp. 315–327. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7515-1_24.
- Lima, J., Faria, P., Santos Silva, A. (2020). Earth plasters: The influence of clay mineralogy in the plasters’ properties. *Int. J. Archit. Herit.* 14(7), 948–963. <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1727064>.

- Maddison, M., Muring, T., Kirsimäe, K., Mander, Ü. (2009). The humidity buffer capacity of clay-sand plaster filled with phytomass from treatment wetlands. *Build. Environ.* 44, 1864–1868. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.12.008>.
- Maskell, D., Thomson, A., Walker, P., Lemke, M. (2018). Determination of optimal plaster thickness for moisture buffering of indoor air. *Build. Environ.* 130, 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.045>.
- Melià, P., Ruggieri, G., Sabbadini, S., Dotelli, G. (2014). Environmental impacts of natural and conventional building materials: A case study on earth plasters. *J. Clean. Prod.* 80, 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.073>.
- NP EN 998-1 (2017). Especificações de argamassas para alvenaria – Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores. Caparica: IPQ.
- NP EN 998-2 (2017). Especificações de argamassas de alvenarias – Parte 2: Argamassas de assentamento. Caparica: IPQ.
- NP EN 1097-3 (2002). Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios. Caparica: IPQ.
- NP EN 14146 (2006). Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmica (através da medição da frequência de ressonância fundamental). Caparica: IPQ.
- Palumbo, M., McGregor, F., Heath, A., Walker, P. (2016). The influence of two crop by-products on the hygrothermal properties of earth plasters. *Build. Environ.* 105, 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.004>.
- Pedernana, M., Elias-Ozkan, S.T., (2021). Impact of various sands and fibres on the physical and mechanical properties of earth mortars for plasters and renders. *Constr. Build. Mater.* 308, 125013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125013>.
- Randazzo, L., Montana, G., Hein, A., Castiglia, A., Rodonò, G., Donato, D.I. (2016). Moisture absorption, thermal conductivity and noise mitigation of clay based plasters: The influence of mineralogical and textural characteristics. *Appl. Clay Sci.* 132–133, 498–507. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.07.021>.
- Santos, T., Faria, P., Santos Silva, A. (2017a). Avaliação *in situ* do comportamento de rebocos exteriores de argamassas de terra com baixas adições de cais. *Conserv. Património* 26, 11–21. <https://doi.org/10.14568/cp2016022>.
- Santos, T., Gomes, M.I., Silva, A.S., Ferraz, E., Faria, P. (2020). Comparison of mineralogical, mechanical and hygroscopic characteristic of earthen, gypsum and cement-based plasters. *Constr. Build. Mater.* 254, 119222. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119222>.
- Santos, T., Nunes, L., Faria, P. (2017b). Production of eco-efficient earth-based plasters: Influence of composition on physical performance and bio-susceptibility. *J. Clean. Prod.* 167, 55–67. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.131>.
- Stazi, F., Nacci, A., Tittarelli, F., Pasqualini, E., Munafò, P. (2016). An experimental study on earth plasters for earthen building protection: The effects of different admixtures and surface treatments. *J. Cult. Herit.* 17, 27–41. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.07.009>.
- Vissac, A., Bourghès, A., Gandreau, D., Anger, R., Fontaine, L., (2017). *Clays & Biopolymers. Natural stabilizers for earthen construction (in french)*. Villefontaine, France: CRAterre.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem o apoio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) pelo financiamento da bolsa de doutoramento de Tânia Santos (SFRH/BD/147428/2019) e do CERIS – Engineering Research and Innovation for Sustainability (UIDB/04625/2020).