

Incorporação de agregados finos de vidro em argamassas

Incorporation of fine glass aggregates in renderings

Renata Oliveira¹, Jorge de Brito², Rosário Veiga³

¹Eng.ª Civil, Mestre em Engenharia Civil (IST)

renata.oliveira@ist.utl.pt

²Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa

jb@civil.ist.utl.pt

³ Eng.ª Civil, Doutora em Engenharia Civil, Investigadora principal com habilitação e chefe do Núcleo de Revestimentos e Isolamentos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

rveiga@lnec.pt

RESUMO: Este artigo apresenta um estudo de viabilidade da utilização de argamassas de revestimento cimentícias com a incorporação de agregados muito finos de vidro, procurando-se assim melhorar o seu desempenho. Para este efeito, durante a campanha experimental, foi realizado um conjunto de ensaios, com o objectivo de caracterizar o comportamento destas argamassas a vários níveis: resistência mecânica, comportamento face à água, durabilidade, entre outros. Apesar de já terem sido estudados vários materiais como filer em argamassas, o vidro tem sido pouco estudado com esta finalidade. Os resultados obtidos foram muito positivos, sendo que a grande maioria das propriedades foi melhorada com a adição de até 20% de agregados finos de vidro.

ABSTRACT: This paper presents a viability study of the use of cementitious renderings with incorporation of very fine recycled aggregates, thus seeking to improve their performance. To that effect, during an experimental programme a set of tests was performed with the objective of characterizing the behaviour of such renderings at several levels: mechanical strength, water-related behaviour, durability, among others. Even though there are already several studies using various materials as filler in mortars, glass has seldom been studied for that purpose. The results were very positive, with most properties improving with the incorporation of up to 20% of fine glass aggregates.

1. INTRODUÇÃO

O crescente consumo de recursos naturais ao longo dos tempos é justificado pelo crescimento da população que se tem verificado. Sabendo-se que a indústria da construção é das maiores responsáveis pela utilização destes recursos, esta enfrenta o desafio da "procura de um desenvolvimento sustentado, ou seja, continuar a criar riqueza mas sem colocar em causa o futuro das próximas gerações (...)" [1]. Para além disto, o sector da construção civil é responsável por uma parte muito significativa dos resíduos produzidos em Portugal, tal como se verifica na

generalidade dos outros Estados Membros da União Europeia, estimando-se uma produção anual global de 100 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) [2].

Segundo o European Flat Glass Industry, 2 a 5% do peso total de um edifício corresponde a chapa de vidro [1]. Contudo, com a evolução da arquitectura, a área envidraçada tem tendência a aumentar, existindo mesmo fachadas totalmente constituídas por vidro, o que indica maiores percentagens de vidro. Para além de ser um dos constituintes dos RCD, o vidro também representa uma parcela considerável dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos), sendo que, em 2006,

representava 5% destes resíduos [3]. Os resíduos de vidro são ainda gerados por outros sectores económicos: a indústria automóvel através dos veículos em fim de vida e a própria indústria vidreira.

Assim, este estudo tem como objectivo analisar o desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos de vidro plano recozido (o mais comum nos RCD). Pretende-se, deste modo, avaliar o efeito de filer, conseguido pelo preenchimento dos vazios existentes na argamassa tradicional por falta de finos, sendo então a argamassa modificada mais compacta, para além do possível efeito pozolânico dos finos de vidro. Esperam-se melhorias em relação à resistência mecânica, ao comportamento face à água e à durabilidade.

2. ESTADO DA ARTE

Uma vez que praticamente não existem estudos anteriores que tenham avaliado o material vidro enquanto filer, são apresentados de seguida os resultados de vários estudos que avaliaram outros materiais finos como filer.

A distribuição granulométrica e a forma dos agregados de uma argamassa condicionam a quantidade e dimensão dos espaços vazios da mesma, o que influencia o seu desempenho. À medida que o índice de vazios diminui, diminuem também as quantidades de ligante e de água requeridas, o que conduz ao efeito benéfico da diminuição da retracção [4].

De facto, a compacidade pode ser definida como o problema da correcta selecção da proporção e do tamanho adequados dos materiais particulados, para que os vazios maiores sejam preenchidos com partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente, tendo influência em diversas propriedades da argamassa, tanto no estado fresco, como no estado endurecido [5].

Assim, Braga et al. [6], Silva et al. [7] e Silva e Campiteli [8], estudando, respectivamente, a incorporação de finos de betão, cerâmicos e de rocha calcária, concluíram todos que, para uma mesma consistência, à medida que se aumenta o teor de finos, diminui a razão água / cimento, uma vez que as partículas finas adicionadas à argamassa preenchem os vazios existentes entre as partículas maiores, anteriormente ocupados pela água, que passa a actuar apenas como

lubrificante da movimentação das partículas.

A trabalhabilidade / plasticidade de uma argamassa também depende da quantidade de partículas de dimensão inferior a 0,075 mm que contém (incluindo o ligante). Com efeito, estas partículas finas melhoram a coesão interna da mistura, permitindo que a argamassa mantenha as deformações impostas pelo processo de mistura, uma vez que as partículas de menores dimensões apresentam maior tensão superficial [9]. Também segundo Ishikawa [10], todos os materiais finos têm elevadas superfícies específicas, influenciando assim a plasticidade da argamassa. Deste modo, a trabalhabilidade melhora com o aumento do teor de finos.

Em relação à retenção de água, Braga et al. [6] e Silva et al. [7] verificaram um aumento desta grandeza com a incorporação de finos.

Estes mesmos autores ([6] e [7]) verificaram que a incorporação dos finos estudados conduz a um aumento da aderência ao suporte. Já em relação ao módulo de elasticidade dinâmico, enquanto que Braga et al. [6] verificaram um aumento desta grandeza com a incorporação de finos de betão, Silva et al. [7] constataram uma tendência contrária com a incorporação de finos cerâmicos.

Apesar de Veiga [11] e de Angelim et al. [12] considerarem que a incorporação de finos pode aumentar a susceptibilidade da argamassa à fissuração por retracção, tanto Braga et al. [6] como Silva et al. [7] constataram que a incorporação dos finos estudados não altera significativamente a resistência das argamassas à fendilhação. Também Veiga [13] não constatou experimentalmente aumento da susceptibilidade à fendilhação com a incorporação de maior teor de agregados muito finos.

Em relação à resistência mecânica, seja qual for o material incorporado como filer, os resultados são extremamente satisfatórios. Assim, Braga et al. [6] e Silva et al. [7] verificaram melhorias consideráveis tanto na resistência à tracção por flexão como na resistência à compressão. Também Angelim et al. [12], nomeadamente com a incorporação de filer calcário, constataram aumentos significativos das resistências à tracção por flexão e à compressão. De igual modo, Silva et al. [14] e Silva e Campiteli [8], estudando ambos a incorporação de finos de rocha calcária, verificaram a mesma tendência. Embora apenas aos 58 dias de idade, Kruger et al. [15] também

verificaram que a incorporação de 5 e 10% de pó de vidro conduz a maiores valores de resistência à compressão.

Em geral, todos os estudos que analisam a incorporação de finos em argamassas, seja de que natureza forem, verificam maiores retrações nas argamassas modificadas do que nas argamassas de referência. Isto mesmo foi constatado por Braga et al. [6], Silva et al. [7] e Angelim et al. [12].

Silva et al. [7] também avaliou a compatibilidade das argamassas com o suporte, através do ensaio de envelhecimento acelerado. Após o envelhecimento acelerado, os provetes foram submetidos aos ensaios de permeabilidade à água sob pressão e de aderência ao suporte. Nas duas propriedades avaliadas, a argamassa com incorporação de finos cerâmicos revelou melhor comportamento do que a de referência, com menores valores de permeabilidade à água sob pressão e maiores valores de aderência ao suporte.

Quanto à absorção de água por capilaridade, com a incorporação de finos, de um modo geral, observa-se uma tendência para redução do coeficiente de capilaridade (diminuição da velocidade de absorção), mas um aumento da altura de subida da água (devido ao aumento da pressão capilar), que são resultados típicos de quando se reduz a dimensão dos poros. De facto, Braga et al. [6], Silva et al. [7] e Silva e Campiteli [8] verificaram uma acentuada redução do coeficiente de capilaridade com a incorporação de finos, enquanto que Silva et al. [14] registaram maiores alturas de água nas argamassas com finos do que na de referência.

No que diz respeito à secagem, Braga et al. [6] não notaram alterações significativas no comportamento das argamassas modificadas face à de referência.

Assim, como principais aspectos positivos, a incorporação de finos conduz a maiores resistências mecânicas e a menores coeficientes de capilaridade. Por outro lado, o principal efeito nefasto da incorporação de agregados finos é o aumento da retração. Contudo, pode-se dizer que, em geral, e em teores moderados, a incorporação de finos em argamassa melhora o seu desempenho face às argamassas tradicionais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, são descritos os materiais estudados, bem como as referências normativas utilizadas em cada um dos ensaios realizados.

3.1. Materiais

De modo a avaliar o efeito da utilização do pó de vidro enquanto filer, várias argamassas foram formuladas, e submetidas a diversos ensaios, em cuja composição a percentagem de adição de finos de vidro varia, para além de uma argamassa de referência, sem qualquer tipo de adição. Os agregados finos de vidro utilizados são provenientes da trituração de vidro plano recozido, sendo utilizada apenas a granulometria inferior a 0,149 mm, obtida por separação granulométrica.

O programa experimental foi dividido em três fases: a primeira consistiu na identificação das principais características dos constituintes das argamassas; a segunda foi uma fase eliminatória, em que foram realizados diversos ensaios a todas as argamassas em estudo, pretendendo-se seleccionar a que revelasse melhor comportamento em relação às propriedades analisadas; por fim, na terceira fase, a argamassa seleccionada na segunda foi submetida a outros ensaios mais específicos, mas de igual modo relevantes, de modo a aferir a viabilidade da utilização de finos de vidro em argamassas de revestimento.

Todas as argamassas avaliadas foram produzidas ao mesmo traço volumétrico de 1:4 (cimento: agregado), tendo estas a seguinte identificação e descrição:

- I (1:4_0%) - 0% de adição - argamassa de referência;
- I (1:4_10%) - 10% de adição;
- I (1:4_15%) - 15% de adição;
- I (1:4_20%) - 20% de adição.

Para além deste estudo, em que o pó de vidro foi avaliado na sua vertente de filer, foi também desenvolvida uma outra investigação que avaliou as potenciais propriedades pozolânicas deste material fino, cujos resultados são apresentados em Oliveira et al. [16]. Sempre que se recorre ao vidro, questiona-se o potencial desenvolvimento de reacções álcalis-sílica. Contudo, tal como se pode constatar em Penacho et al. [17], estas não são significativas para partículas de vidro de tão reduzida dimensão, como as utilizadas neste estudo.

3.2. Métodos

Os métodos de ensaio seguidos em cada um dos ensaios realizados foram os seguintes:

- análise granulométrica - segundo a Norma Europeia EN 1015-1 (1998);
- massa volúmica aparente (baridade) - segundo o procedimento do Cahier 2669-4 (1993);
- consistência por espalhamento - de acordo com a Norma Europeia EN 1015-3 (1999);
- massa volúmica da argamassa no estado fresco - de acordo com a Norma Europeia EN 1015-6 (1998);
- teor de ar incorporado - segundo a Norma Europeia EN 1015-7 (1998);
- massa volúmica aparente: argamassa no estado endurecido - de acordo com a Norma Europeia EN 1015-10 (1999);
- módulo de elasticidade dinâmico - segundo o método da frequência de ressonância, descrito na Norma Francesa NF B 10-511 (1975);
- resistência à tracção por flexão e à compressão - de acordo com a Norma Europeia EN 1015-11 (1999);
- absorção de água por capilaridade - segundo a Norma Europeia EN 1015-18 (2002);
- secagem - ensaio feito logo após o fim do ensaio de absorção de água por capilaridade, utilizando os semi-prismas usados nesse outro ensaio; os provetes submetidos ao ensaio de absorção de água por capilaridade são deixados secar nas mesmas condições ambientais em que decorreu o ensaio de absorção (20 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de HR), fora da tina com água e assentes sobre barras de vidro, de modo a permitir a circulação de ar por todas as faces; os provetes são pesados 30, 60, 90, 270, 450 e 1440 minutos após terem sido retirados da tina, sendo que nos dias seguintes os provetes são pesados de 24 em 24 horas, até se atingir massa constante;
- susceptibilidade à fendilhação: aplicação em tijolo - sobre três provetes de cada uma das argamassas, sendo cada provete constituído por um tijolo com argamassa aplicada; observou-se, ao longo do tempo, se ocorreram, ou não, fissuras;
- retenção de água - segundo o Projecto de Norma Europeia prEN 1015-8 (1999);
- variação dimensional: retracção - segundo o documento normativo Cahier 2669-4 (1993);
- avaliação da durabilidade com base no ensaio de envelhecimento artificial acelerado - ensaio efectuado a dois provetes de cada argamassa, sendo cada provete constituído por um murete, formado por um tijolo e duas metades, ligados por argamassa de assentamento, sobre os quais foram aplicadas as argamassas; este ensaio foi efectuado de acordo com a Norma Europeia EN 1015-21 (2002), sendo os provetes submetidos, após 28 dias de cura, aos ciclos climáticos indicados nesta norma;
- avaliação das características mecânicas por ultra-sons - ensaio realizado antes e após o envelhecimento artificial acelerado, de acordo com a Ficha de Ensaio FE Pa 43 (2010); neste ensaio, mede-se a velocidade de propagação das ondas ultra-sónicas através da argamassa em estudo;
- permeabilidade à água sob pressão - ensaio realizado antes e após o envelhecimento artificial acelerado, com base no método da Norma Europeia EN 1015-21 (2002), usando um dispositivo que permite manter uma pressão de 260 mm de altura de água e medir a descida do nível de água, em milímetros, ao longo do tempo;
- aderência ao suporte - ensaio realizado antes e após o envelhecimento artificial acelerado, segundo o método da Norma Europeia EN 1015-12 (2000).

4. RESULTADOS E ANÁLISE

4.1. Primeira fase experimental

Esta é uma fase inicial, de identificação das principais características dos constituintes das argamassas.

4.1.1. Análise granulométrica

Apesar de se ter utilizado apenas o vidro de granulometria inferior a 0,149 mm, são apresentadas na Figura 1 as curvas

granulométricas tanto da areia de rio utilizada como do material vidro.

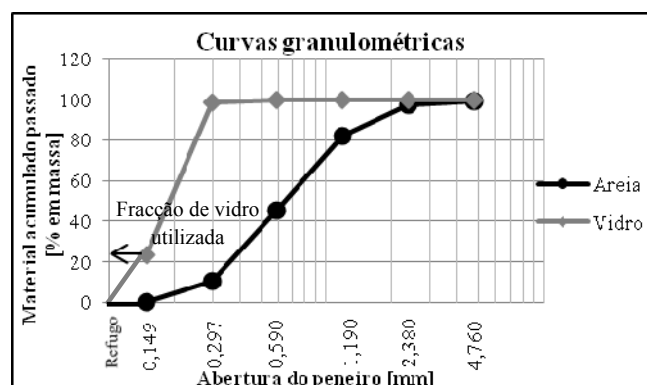


Figura 1 - Curva granulométrica da areia e do vidro

4.1.2. Massa volúmica aparente (baridade)

Foi determinada a massa volúmica aparente (baridade) do cimento, da areia e dos finos de vidro, tendo-se obtido os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Massa volúmica aparente (baridade) do ligante e dos agregados

	Massa volúmica aparente [kg/m ³]
Cimento	1010
Areia	1470
Vidro	830

4.2. Segunda fase experimental

Esta fase permitiu efectuar uma caracterização inicial das várias argamassas em análise, tendo sido assim possível determinar a percentagem de adição de finos de vidro que levava ao melhor comportamento da argamassa de revestimento.

4.2.1. Consistência por espalhamento

Este ensaio pretende, fundamentalmente, determinar a quantidade de água a utilizar na amassadura, de modo a obter um espalhamento pré-definido. Segundo a Norma Europeia EN 1015-2 (1998), para argamassas de revestimento, admite-se como espalhamento adequado o valor de 175 ± 10 mm. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 2.

À medida que se adicionam finos de vidro, e para se obter o mesmo espalhamento, a quantidade de água necessária diminui. Isto deve-se ao efeito de filler, já que os vazios existentes entre os grãos da

areia, antes preenchidos por água, são agora ocupados pelos finos de vidro.

Tabela 2 - Consistência por espalhamento

Argamassa	Quantidade de água por dm ³ de argamassa [ml]	Média do espalhamento [mm]	Razão água / cimento
I (1:4_0%)	285	171,5	1,41
I (1:4_10%)	250	170,5	1,24
I (1:4_15%)	245	173,0	1,21
I (1:4_20%)	240	169,0	1,19

Assim, a água tem apenas as funções de lubrificação e de hidratação do cimento. Por outro lado, à medida que se aumenta a quantidade de finos adicionada, ocorre um aumento da plasticidade da argamassa, que fica mais trabalhável, o que justifica o decréscimo da razão água / cimento. De facto, segundo Selmo [9], as partículas finas aumentam a coesão interna da argamassa. Também Hudson [18] indica que as partículas de dimensões inferiores a 150 µm podem actuar como lubrificantes na pasta de cimento e melhorar a trabalhabilidade da argamassa, permitindo assim uma redução da razão água / cimento.

Esta mesma tendência foi notada por Braga et al. [6] e por Silva et al. [7]. Também Silva e Campiteli [8], ao adicionarem finos de rocha calcária, verificaram que, de um modo geral, para a mesma consistência, à medida que se aumenta o teor de finos diminui a razão água / cimento.

4.2.2. Massa volúmica da argamassa no estado fresco

Os resultados da massa volúmica da argamassa no estado fresco foram os apresentados na Figura 2.

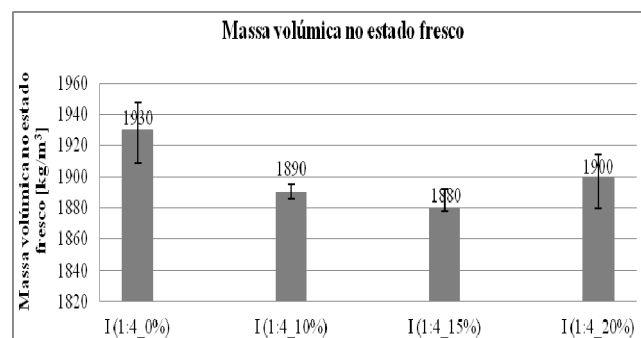


Figura 2 - Massa volúmica no estado fresco

Na análise destes resultados, é necessário ter em consideração dois efeitos contrários. Se,

por um lado, o efeito de fíler levaria a que a massa volúmica das argamassas aumentasse com a incorporação de finos de vidro, por outro, como se verá adiante, a adição de agregados finos de vidro leva a uma grande introdução de ar nas argamassas, o que conduz à diminuição da massa volúmica no estado fresco. Assim, até 15% de adição de finos de vidro, verifica-se que o efeito da introdução de ar prevalece sobre o efeito de fíler, enquanto que, para 20% de adição, o efeito de fíler já se começa a sobrepor à introdução de ar.

4.2.3. Teor de ar incorporado

Os resultados do teor de ar incorporado nas argamassas são apresentados na Figura 3.

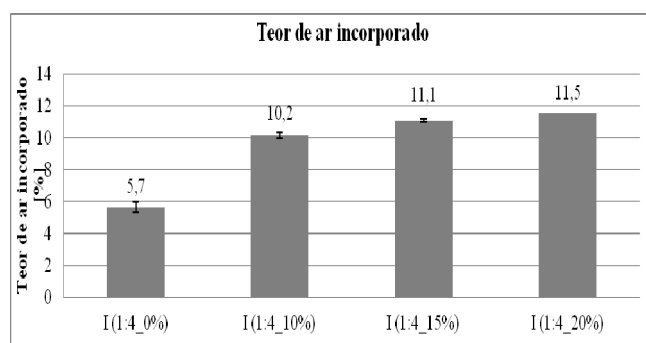


Figura 3 - Teor de ar incorporado

Como atrás referido, verifica-se que a adição de agregados finos de vidro conduz a uma considerável incorporação de ar na argamassa no estado fresco, possivelmente devido à forma das partículas dos finos de vidro, predominantemente laminar, que conduz ao aprisionamento do ar.

4.2.4. Massa volúmica aparente: argamassa no estado endurecido

Os resultados obtidos neste ensaio são apresentados na Figura 4.

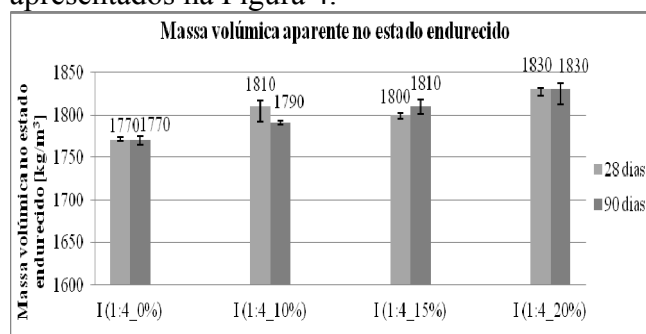


Figura 4 - Massa volúmica aparente no estado endurecido

A massa volúmica aparente no estado endurecido não apresenta um comportamento semelhante ao da massa volúmica no estado fresco. Com efeito, e através da Figura 4, verifica-se, de modo geral e em ambas as idades, o aumento da massa volúmica aparente com a incorporação de finos de vidro. Este aumento da massa volúmica aparente no estado endurecido deve-se ao preenchimento de vazios por efeito de fíler. De facto, a introdução de ar, preponderante na massa volúmica no estado fresco, já não se faz sentir do mesmo modo nas argamassas endurecidas, porque parte do ar introduzido acaba por ser libertado durante a compactação realizada na moldagem e a estabilização subsequente.

4.2.5. Módulo de elasticidade dinâmico

Neste ensaio, obtiveram-se os valores apresentados na Figura 5.

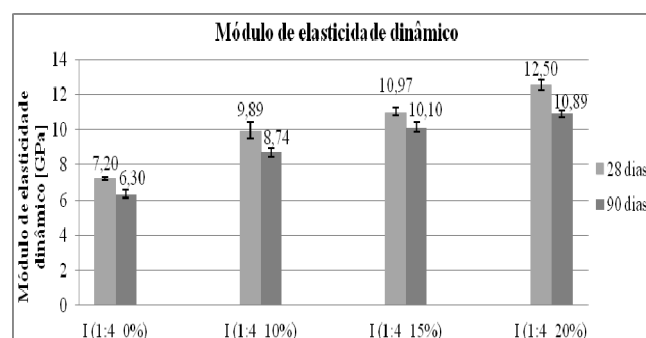


Figura 5 - Módulo de elasticidade dinâmico

À medida que se adicionam finos de vidro, o módulo de elasticidade aumenta, em qualquer das idades. Analisando cada uma das argamassas, verifica-se que há uma redução do módulo de elasticidade dinâmico dos 28 para os 90 dias, ao contrário do que se esperava, talvez devida a alguma microfissuração interna entretanto surgida, ou a variações do teor de humidade dos provetes entre estas duas idades.

Por análise da Figura 6, verifica-se que Braga et al. [6], à semelhança deste estudo, notaram um aumento do módulo de elasticidade dinâmico com a incorporação de finos de betão. Já Silva et al. [7], com finos cerâmicos, observaram uma tendência contrária.

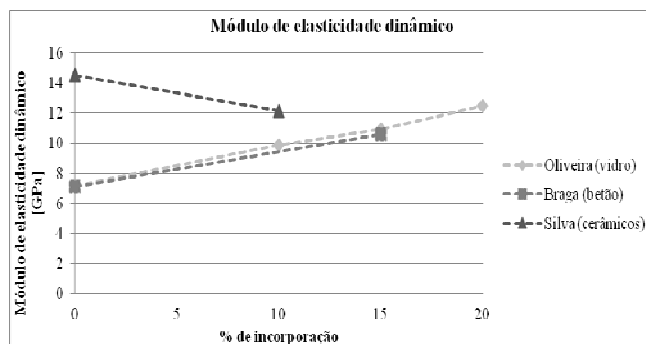


Figura 6 - Comparação dos resultados do ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico, aos 28 dias ou aos 2 meses, com os obtidos por Braga et al. [6] (betão) e Silva et al. [7] (cerâmicos)

O aumento do módulo de elasticidade com a incorporação de finos é justificado pelo facto de terem sido incorporados finos à mistura, preenchendo parte dos vazios existentes e por ter havido uma diminuição do consumo de água, o que levou a uma maior compacidade e a um aumento da rigidez da argamassa.

Assim, no presente estudo, e tanto aos 28 como aos 90 dias de idade, verifica-se um aumento do módulo de elasticidade de mais de 70% para a argamassa com 20% de incorporação de finos face à argamassa de referência. Este aumento de rigidez pode-se revelar em certos casos negativo, uma vez que leva a maiores concentrações de tensões internas e a menor capacidade de deformação.

4.2.6. Resistência à tracção por flexão e à compressão

Os valores obtidos neste ensaio são apresentados nas Figuras 7 e 8.

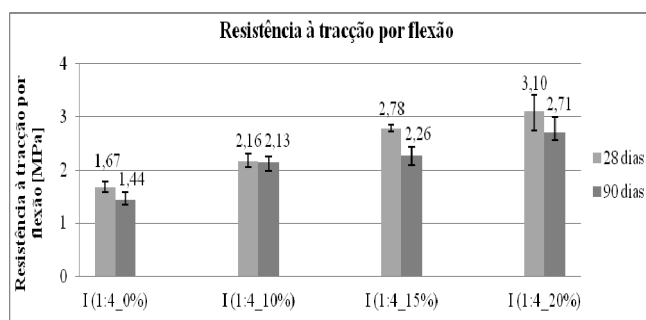


Figura 7 - Resistência à tracção por flexão

É notório o incremento da resistência mecânica das argamassas, tanto à tracção por flexão como à compressão, à medida que se adicionam finos de vidro, para ambas as idades analisadas. Segundo Angelim et al. [12], estes resultados podem ser justificados pelas menores razões água / cimento

que as argamassas com incorporação de finos de vidro apresentam, pelas elevadas compacidades destas argamassas endurecidas e ainda pelo possível efeito pozolânico que o pó de vidro possa revelar.

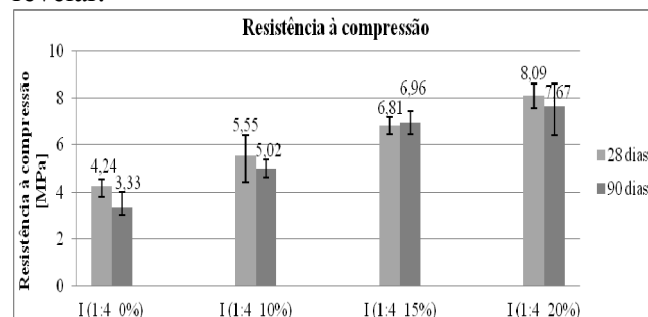


Figura 8 - Resistência à compressão

Tal como para o módulo de elasticidade dinâmico, também na resistência à tracção por flexão e à compressão se verifica, na generalidade dos casos, uma tendência decrescente entre os valores registados aos 28 dias e aos 90 dias.

Por análise das Figuras 9 e 10, verifica-se que os resultados obtidos neste estudo, tanto para a resistência à tracção por flexão, como para a resistência à compressão, estão de acordo com outros trabalhos de investigação, que avaliaram o efeito de filler, por adição de outros materiais que não o vidro. Nestas duas figuras, constata-se que é a adição de finos cerâmicos, estudada por Silva et al. [7], que conduz às maiores resistências mecânicas, tanto à tracção por flexão como à compressão. Ainda nestes elementos, é possível verificar que as argamassas em estudo apresentam um comportamento muito semelhante ao das argamassas estudadas por Braga et al. [6], com incorporação de finos de betão.

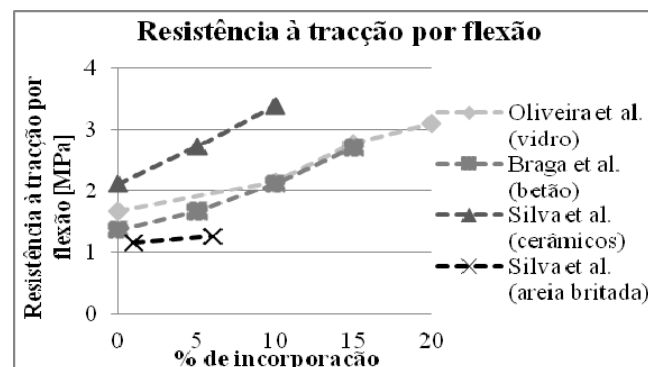


Figura 9 - Comparação dos resultados do ensaio de determinação da resistência à tracção por flexão, aos 28 dias, com os obtidos por Braga et al. [6] (betão), Silva et al. [7] (cerâmicos) e Silva et al. [14] (areia britada)

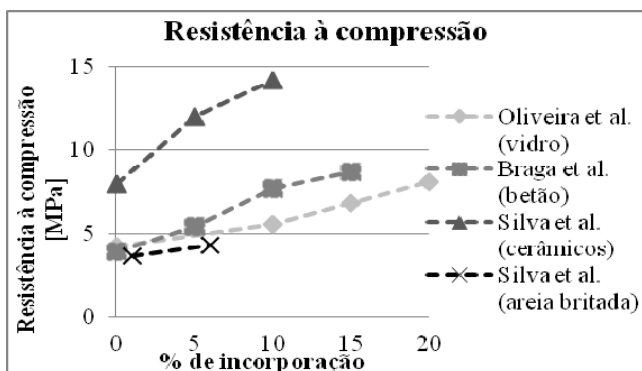


Figura 10 - Comparação dos resultados do ensaio de determinação da resistência à compressão, aos 28 dias, com os obtidos por Braga et al. [6] (betão), Silva et al. [7] (cerâmicos) e Silva et al. [14] (areia britada)

Deste modo, conclui-se que a adição de agregados finos de vidro melhora amplamente o comportamento mecânico das argamassas, tanto em relação à resistência à tracção por flexão, como em relação à resistência à compressão. Com efeito, no que diz respeito à resistência à tracção por flexão, verificou-se, para 20% de adição, um aumento da resistência em relação à argamassa de referência de mais de 85%, tanto aos 28 como aos 90 dias, e em relação à resistência à compressão, um incremento para cerca do dobro, em ambas as idades avaliadas.

4.2.7. Absorção de água por capilaridade

Os coeficientes de capilaridade de cada argamassa são apresentados na Figura 11.

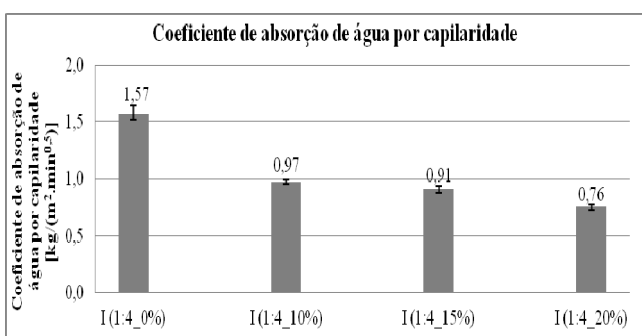


Figura 11 - Absorção de água por capilaridade

Quanto menor o coeficiente de absorção de água por capilaridade de uma argamassa, mais protegida esta está. Da análise da Figura 11, verifica-se que, quanto maior a percentagem de incorporação de finos, menor o coeficiente de absorção de água por capilaridade. Com a adição de agregados finos, estes vão preencher os vazios

existentes na argamassa, por efeito de filler, ficando então a argamassa com poros de menor dimensão, que dificultam a percolação da água no seio da mesma. A redução da porosidade conduz a uma menor absorção de água por capilaridade no total, enquanto que a menor dimensão dos poros leva a uma diminuição da taxa de absorção (menor coeficiente de capilaridade) [20].

Nas Figuras 12 e 13, verifica-se que a argamassa com 20% de adição de finos de vidro tem uma maior compactidade da matriz. De facto, à escala das figuras, a maior parte dos poros capilares não é visível. Contudo, uma vez verificada a redução da dimensão destes poros de maior dimensão (macroporos), é expectável que todos os poros sigam esta tendência de redução significativa da sua dimensão, com a adição de agregados finos de vidro.

Assim, verifica-se que esta propriedade é amplamente melhorada com a incorporação de agregados finos de vidro, pelo menos até 20% de incorporação de finos. Para essa máxima percentagem de incorporação, constata-se uma redução do coeficiente de absorção de água por capilaridade de mais de 50%, em relação à argamassa de referência.



Figura 12 - Argamassa de referência, observada na lupa binocular electrónica, com uma ampliação de 30 vezes



Figura 13 - Argamassa com 20% de incorporação de finos de vidro, observada na lupa binocular electrónica, com uma ampliação de 30 vezes

Na Figura 14, constata-se que a tendência verificada neste estudo também foi notada por Braga et al. [6] e por Silva et al. [7].

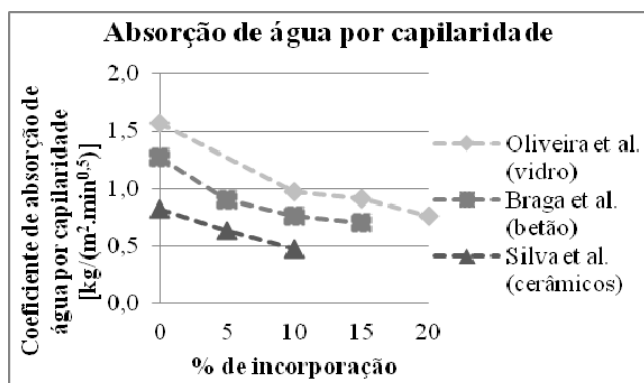


Figura 14 - Comparação dos resultados do ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade, aos 28 dias, com os obtidos por Braga et al. [6] (betão) e Silva et al. [7] (cerâmicos)

4.2.8. Secagem

O comportamento face à secagem de todas as argamassas ensaiadas pode ser analisado na Figura 15.

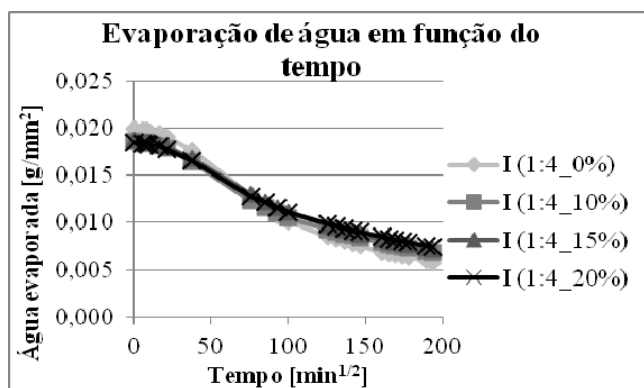


Figura 15 - Secagem

Por análise da Figura 15, verifica-se que a adição de agregados finos de vidro, não introduz alterações significativas em relação à secagem. Isto mesmo foi constatado por Braga et al. [6].

4.2.9. Susceptibilidade à fendilhação: aplicação em tijolo

Ao fim de cerca de 5 meses de observação, nenhum dos tijolos, de qualquer das argamassas em análise, apresentou qualquer tipo de fissura visível a olho nu. Assim, conclui-se que as argamassas com incorporação de agregados finos de vidro são pouco susceptíveis à fissuração, o que está de acordo com Veiga e Abrantes [21].

Este mesmo comportamento foi verificado por Braga et al. [6] e por Silva et al. [7].

4.2.10. Selecção para a fase seguinte

Uma vez concluídos todos os ensaios previstos para a segunda fase, seleccionou-se a argamassa que revelou melhor desempenho.

Assim, e observando-se os resultados dos ensaios realizados na segunda fase, verifica-se que, claramente, é a argamassa com um total de finos de 20% que, de um modo geral, melhores resultados apresenta. Contudo, estes mesmos resultados indiciam que, provavelmente, uma maior percentagem de incorporação de finos de vidro ainda conduziria a melhores desempenhos na maioria das propriedades, o que também teria vantagens sob o ponto de vista da reciclagem. O único inconveniente à utilização de uma maior percentagem de incorporação de finos de vidro é o considerável aumento do módulo de elasticidade dinâmico, já verificado para as percentagens de incorporação estudadas neste trabalho. Assim, numa perspectiva conservadora, optou-se por analisar na terceira fase a argamassa com 20% de adição de agregados finos de vidro.

4.3. Terceira fase experimental

Na terceira fase de ensaios, apenas são avaliadas a argamassa de referência e a argamassa seleccionada no fim da segunda fase.

4.3.1. Retenção de água

Os resultados do ensaio de retenção de água são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Retenção de água

Argamassa	Retenção de água [%]	Desvio padrão [%]
I (1:4_0%)	63,2	1,05
I (1:4_20%)	78,9	0,50

Verifica-se que a argamassa com incorporação de agregados finos de vidro apresenta uma maior capacidade de retenção de água do que a argamassa de referência. Este resultado era expectável, uma vez que a presença de uma maior quantidade de finos dificulta a libertação de água do interior da argamassa. Este facto permite uma maior disponibilidade de água para que ocorra a

hidratação do cimento, havendo assim mais probabilidade de se atingir a hidratação completa.

Segundo Gomes [22], a argamassa que não possuir uma adequada capacidade de retenção de água prejudicará a qualidade do revestimento, na medida em que as reacções de hidratação do cimento ficarão comprometidas. Assim, e desde que as outras características não piorem, quanto mais elevada for a capacidade de retenção de água de uma argamassa, melhor.

A capacidade de retenção de água de uma argamassa previne eventuais problemas como a excessiva absorção de água pelo suporte onde a argamassa é aplicada e a rápida perda de água da argamassa, com a consequente fraca hidratação do cimento. O primeiro problema pode levar à expansão do suporte e assim a uma maior probabilidade de retracção durante a secagem; já o segundo caso pode conduzir a uma fraca aderência entre a argamassa e o suporte [23] e a uma menor resistência da argamassa.

Na Figura 16, constata-se que a tendência verificada neste estudo também foi notada nos trabalhos de Braga et al. [6] e de Silva et al. [7].

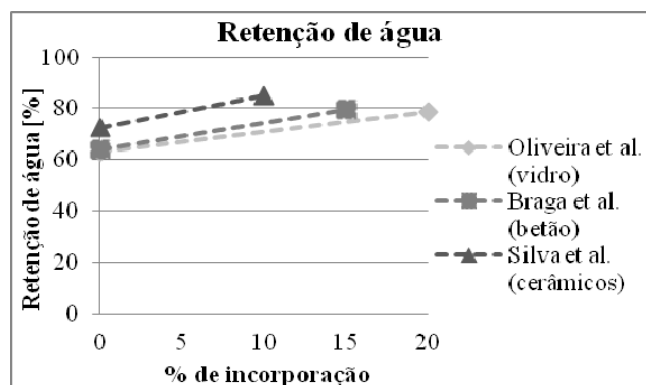


Figura 16 - Comparação dos resultados do ensaio de determinação da retenção de água, com os obtidos por Braga et al. [6] (betão) e Silva et al. [7] (cerâmicos)

Deste modo, conclui-se que a adição de agregados finos de vidro melhora o comportamento da argamassa, por incrementar a capacidade de retenção de água.

4.3.2. Variação dimensional: retracção

Neste ensaio, obtiveram-se os valores apresentados na Figura 17.

Constata-se que a argamassa com incorporação de agregados finos de vidro apresenta maiores valores de retracção do que a argamassa de

referência. Este resultado era expectável dado que, segundo Veiga [11], o uso de agregados com alto teor de finos é uma das condições para o aumento da retracção, que torna mais provável o surgimento de fendilhação por retracção restringida.

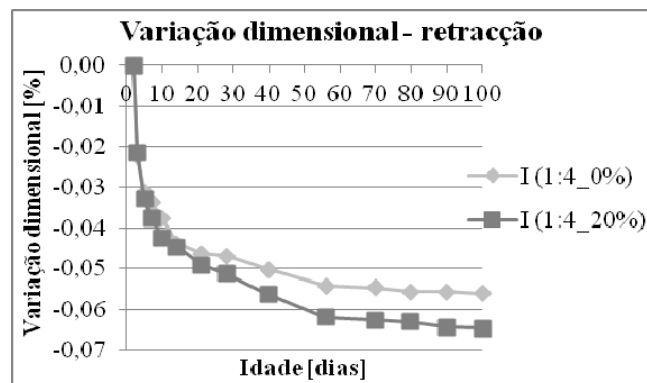


Figura 17 - Variação dimensional

Por observação da Figura 18, verifica-se que também Braga et al. [6] e Silva et al. [7] constataram que as argamassas com incorporação de finos apresentavam maiores retracções do que as argamassas de referência. Esta mesma observação foi efectuada por Angelim et al. [12], para a generalidade dos materiais analisados.

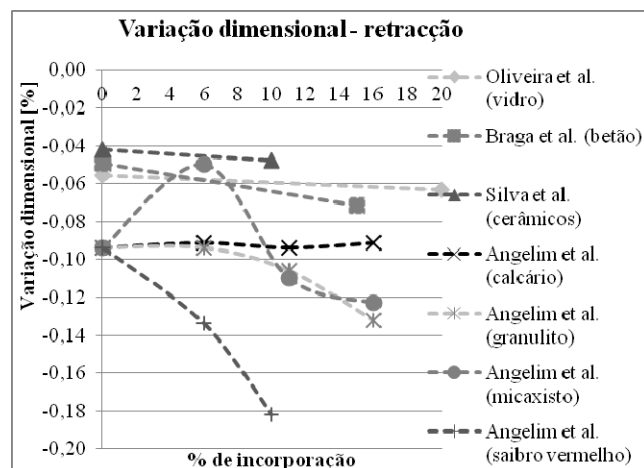


Figura 18 - Comparação dos resultados do ensaio de variação dimensional, com os obtidos por Braga et al. [6] (betão), Silva et al. [7] (cerâmicos) e Angelim et al. [12] (calcário, granulito, micaxisto e saibro vermelho)

Em suma, constatou-se que a adição de 20% de finos de vidro conduz a maiores retracções do que na argamassa tradicional, considerando-se ainda a retracção verificada como aceitável (apenas 15% superior à da argamassa de referência, aos 100 dias). Confrontando os resultados da retracção

desta argamassa com os das argamassas dos outros estudos, apesar de a percentagem de incorporação de vidro analisada ser superior a qualquer um dos restantes materiais, verifica-se que, comparativamente, esta argamassa apresenta uma baixa retracção.

4.3.3. Avaliação da durabilidade com base no ensaio de envelhecimento artificial acelerado

Foram analisadas as seguintes características, antes e após o ensaio de envelhecimento artificial acelerado:

a) Aspecto visual

Após a submissão aos ciclos de envelhecimento acelerado, não foram detectadas fissuras nem desagregação em nenhum dos provetes.

b) Avaliação de características mecânicas por ultra-sons

Os resultados obtidos neste ensaio foram os apresentados na Figura 19.

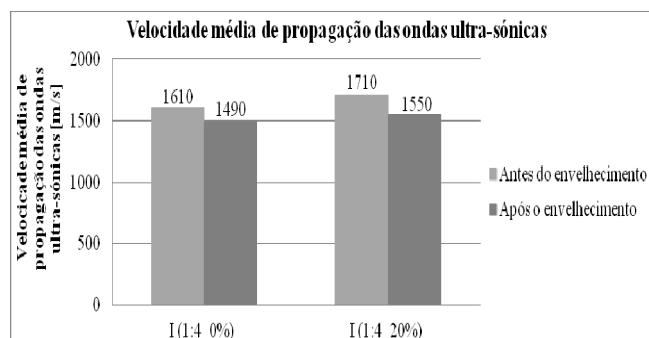


Figura 19 - Ultra-sons

Tanto antes como após o envelhecimento, verifica-se que a velocidade de propagação das ondas ultra-sónicas é maior na argamassa com adição de agregados finos de vidro do que na argamassa de referência. Este facto era esperado, uma vez que, sendo a argamassa com adição de finos de vidro mais compacta, era expectável que esta revelasse, uma maior velocidade de propagação das ondas de ultra-sons.

Por outro lado, verifica-se, em ambas as argamassas analisadas, que a velocidade de propagação das ondas é menor após o envelhecimento. De facto, durante a submissão aos vários ciclos climáticos, podem ocorrer dois fenómenos que levam a resultados contrários. Por um lado, sobretudo durante os ciclos humidade -

gelo, devido à presença de água em abundância, pode-se hidratar algum cimento que tenha ficado por hidratar, o que faz aumentar a velocidade de propagação das ondas ultra-sónicas. Contudo, por outro lado, devido às diferenças de comportamento entre os diferentes materiais quando sujeitos a variações térmicas e à formação de gelo, é expectável que se formem microfissuras superficiais na argamassa, o que conduz a uma redução da velocidade de propagação das ondas. Assim, neste caso, verifica-se que o efeito da microfissuração foi preponderante em relação à hidratação do cimento.

c) Permeabilidade à água sob pressão

Neste ensaio, obtiveram-se os resultados indicados na Figura 20.

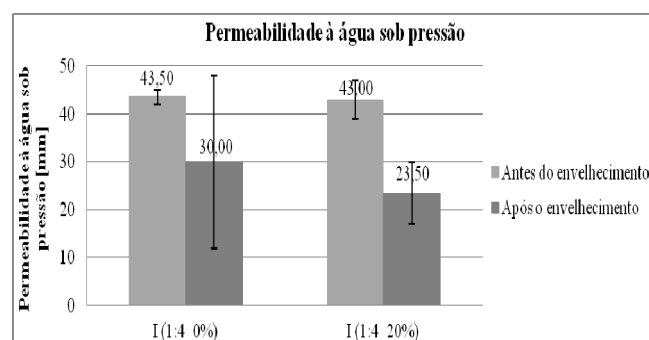


Figura 20 - Permeabilidade à água sob pressão

Tanto antes como após o envelhecimento acelerado, a argamassa com 20% de incorporação de agregados finos de vidro apresenta, em média, uma menor permeabilidade à água sob pressão.

A tendência verificada é um aspecto bastante positivo, uma vez que uma reduzida permeabilidade à água no estado líquido limita a penetração de água na argamassa, demonstrando assim a argamassa com incorporação de agregados finos de vidro, em média, um melhor comportamento face a esta característica. Contudo, e como se pode constatar na Figura 20, este ensaio apresenta uma grande variabilidade dos resultados individuais, sobretudo para a argamassa de referência, após o envelhecimento.

Esta mesma tendência média foi verificada por Silva et al. [7], tendo estes autores analisado esta característica apenas após a submissão dos provetes a ciclos de envelhecimento acelerado.

Em ambas as argamassas analisadas, verifica-se, em média, uma redução da permeabilidade à água sob pressão após o envelhecimento. Tal como referido aquando da interpretação dos

resultados do ensaio de avaliação das características mecânicas por ultra-sons, após a submissão aos ciclos climáticos, por um lado existe o efeito da hidratação do cimento que poderia não ter chegado a hidratar e, por outro, o surgimento de microfissuração. Contudo, essa microfissuração é predominantemente superficial, não tendo assim muita influência na alteração da permeabilidade à água sob pressão. Assim, neste ensaio, revela-se como predominante o efeito da hidratação do cimento, o que conduz a menores permeabilidades à água sob pressão após o envelhecimento.

Em suma, conclui-se que a argamassa com incorporação de agregados finos de vidro apresenta, em média, um melhor comportamento face à permeabilidade à água sob pressão do que a argamassa tradicional.

d) Aderência ao suporte

Os resultados obtidos neste ensaio foram os apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Aderência ao suporte, antes do envelhecimento

Argamassa	Aderência [MPa]	Tipologia de rotura predominante	Desvio padrão [MPa]
I (1:4_0%)	0,64	B	0,10
I (1:4_20%)	0,67	A / B	0,06

A - rotura adesiva (no plano do revestimento - suporte); B - rotura coesiva (no seio do revestimento); C - rotura coesiva (no seio do suporte)

Tabela 5 - Aderência ao suporte, após o envelhecimento

Argamassa	Aderência [MPa]	Tipologia de rotura predominante	Desvio padrão [MPa]
I (1:4_0%)	0,75	B	0,08
I (1:4_20%)	0,79	A / B / C	0,14

A - rotura adesiva (no plano do revestimento - suporte); B - rotura coesiva (no seio do revestimento); C - rotura coesiva (no seio do suporte)

Tanto antes como após o envelhecimento, a argamassa com 20% de adição de agregados finos de vidro apresenta uma maior capacidade de aderência ao suporte. Isto deve-se ao facto de que, com uma maior percentagem de material fino, a ligação entre o revestimento e o suporte é mais efectiva, devido à sucção de água e de finos da argamassa de revestimento pelo suporte. Contudo, ao contrário da argamassa de referência, que

apresenta, tanto antes como após o envelhecimento, uma rotura do tipo coesiva na argamassa, ocorrendo assim no seio desta, a argamassa com incorporação de finos de vidro, antes do envelhecimento, já apresenta algumas roturas adesivas, na interface entre o revestimento e o suporte, o que mostra que o aumento obtido representa provavelmente um incremento de resistência à rotura por tracção da própria argamassa e não tanto uma melhoria da ligação ao suporte. Já após o envelhecimento acelerado, a argamassa com 20% de adição de agregados finos de vidro, para além dos dois tipos de roturas que apresentava antes do envelhecimento, também apresenta roturas coesivas no suporte, o que é justificado da mesma forma, pelo aumento da tensão de rotura à tracção desta argamassa, que ainda sofre um incremento devido ao envelhecimento, por efeito da hidratação de cimento que teria ficado por hidratar. Uma outra justificação plausível para este tipo de rotura é a degradação do próprio suporte durante os ciclos de envelhecimento acelerado, podendo também este sofrer alguma fissuração, o que reduz a sua resistência à tracção.

Em ambas as argamassas estudadas, a capacidade de aderência ao suporte é aumentada com o envelhecimento artificial acelerado. Com efeito, como referido, a microfissuração que se gera nos ciclos de envelhecimento é predominantemente superficial, sendo preponderante para este ensaio o factor da evolução da hidratação do cimento.

Também Braga et al. [6] e Silva et al. [7] verificaram um aumento da tensão de aderência, nos provetes sem envelhecimento (Figura 21).

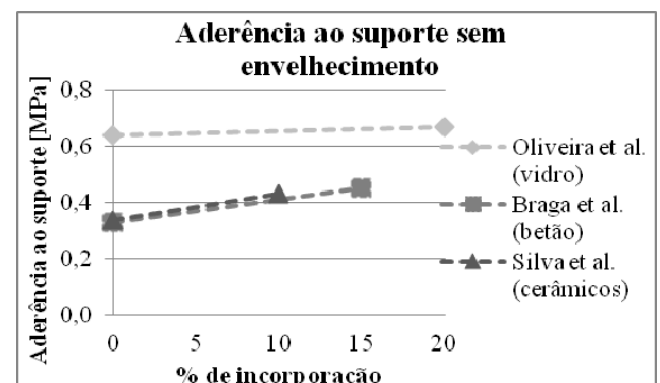


Figura 21 - Comparação dos resultados do ensaio de aderência ao suporte, sem envelhecimento, com os obtidos por Braga et al. [6] (betão) e Silva et al. [7] (cerâmicos)

Também Silva et al. [7] verificaram um aumento considerável da capacidade de aderência de ambas as argamassas ensaiadas, após o envelhecimento artificial acelerado (Figura 22).

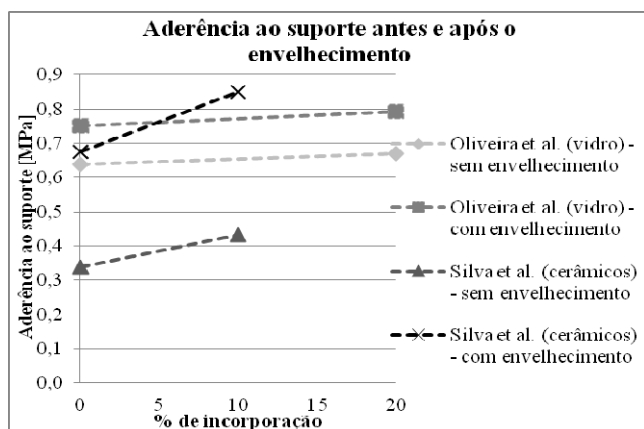


Figura 22 - Comparação dos resultados do ensaio de aderência ao suporte, antes e após o envelhecimento, com os obtidos por Silva et al. [7] (cerâmicos)

5. CONCLUSÕES

Tendo em consideração os resultados dos ensaios da segunda fase, verifica-se que, de um modo geral, todas as argamassas com incorporação de agregados finos de vidro, com 10, 15 e 20% de incorporação, apresentam um comportamento mais favorável do que a argamassa de referência. Esta melhoria de desempenho deve-se, para além do efeito de filler, ao possível efeito pozolânico desenvolvido pelos finos de vidro. De facto, quanto à resistência à tracção, por exemplo aos 28 dias, verificaram-se aumentos de resistência em relação à argamassa de referência de 29, 66 e 86%, respectivamente para as argamassas com 10, 15 e 20% de agregados finos de vidro. Em relação à resistência à compressão, para a mesma idade, os incrementos verificados em relação à argamassa convencional foram de 31, 61 e 91%, também para as argamassas com 10, 15 e 20% de incorporação. Já o coeficiente de absorção de água por capilaridade diminuiu gradualmente com a adição de agregados finos de vidro, em relação à argamassa de referência, em 38, 42 e 52%, para as mesmas percentagens de incorporação. Assim, nesta fase de ensaios, o resultado menos positivo prende-se com o aumento do módulo de elasticidade dinâmico que, por exemplo para os 28 dias de idade, revela, em relação à argamassa convencional, incrementos de 37, 53 e 74 %, respectivamente para a argamassa com 10, 15 e

20% de adição.

Apesar de, como referido, todas as argamassas com adição apresentarem um melhor comportamento do que a argamassa convencional, a argamassa com um total de finos de 20% destacou-se por ser a que demonstrou, em praticamente todas as características avaliadas nesta fase, o melhor desempenho, sendo assim esta argamassa a ensaiada na fase seguinte.

Também na terceira fase de ensaios se constataram resultados maioritariamente positivos para a argamassa com 20% de adição de finos. Quanto à retenção de água, em relação à argamassa de referência, esta aumentou em cerca de 25%, o que é favorável. Em relação à permeabilidade à água sob pressão e à aderência ao suporte, também se verificam resultados mais positivos na argamassa com 20% de adição de finos de vidro do que na argamassa de referência, tanto antes como após o envelhecimento artificial acelerado. Contudo, e como único aspecto negativo nesta terceira fase de ensaios, a retracção aumentou na argamassa com incorporação de finos de vidro, sendo aos 100 dias de idade 15% superior à da argamassa de referência (o que também não é muito significativo).

As melhorias observadas nas diversas características podem ser explicadas pelo efeito filler, que contribui para o aumento da compacidade, reduzindo a absorção de água e aumentando a resistência mecânica. Contudo, tendo em conta a composição do vidro e a sua finura, é também possível a ocorrência de reações pozolânicas [24], contribuindo para um aumento da resistência mecânica e uma melhoria do comportamento aos ciclos climáticos.

Em suma, através da análise geral de todos os ensaios efectuados, destaca-se a grande melhoria de desempenho das argamassas com incorporação de agregados finos de vidro, sobretudo da argamassa com 20% de adição, em relação à argamassa tradicional, conseguindo-se, deste modo, vantagens tanto a nível do comportamento / desempenho, como a nível da reciclagem. Contudo, e observando-se os resultados obtidos, constata-se que talvez se pudessem ter ensaiado maiores percentagens de incorporação de finos de vidro que, provavelmente, conduziriam a argamassas com ainda melhor desempenho. Apesar de esta hipótese ser válida para a grande maioria das propriedades estudadas, as objecções à

mesma prendem-se com o referido aumento do módulo de elasticidade dinâmico e da retração.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do ICIST, LNEC, IST, UTL e FCT.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Coelho A., de Brito, J. *Generation of Construction and Demolition Waste in Portugal*. Waste Management & Research, V. 29, N. 7, 2011, pp. 739-750.
- [2] APA, *Resíduos de Construção e Demolição*, Agência Portuguesa do Ambiente, 2011. Disponível em: <http://www.apambiente.pt/politicasambienteResiduos/fluxresiduos/respgestresiduo/RCD/Paginas/default.aspx> [Consultado em: Outubro de 2011].
- [3] Russo M. A. T. *A legislação nacional e os fluxos específicos dos resíduos*. Novas Oportunidades na Gestão de Resíduos, Sessão 1: Enquadramento Legal da Gestão de Resíduos, Lisboa, 2009.
- [4] Cavaco L., Veiga M. R., Gomes, A. *Render application techniques for ancient buildings*. 2nd International symposium on building pathology, durability and rehabilitation, LNEC/CIB, Lisbon, 2003, pp. 567-576.
- [5] McGeary R. K. *Mechanical packing of spherical particles*. Journal of the American Ceramic Society, V. 44, N. 10, 1961, pp. 513-522.
- [6] Braga M., de Brito J., Veiga R. *Incorporation of fine concrete aggregates in mortars*. Construction and Building Materials, V. 36, 2012, pp. 960-968.
- [7] Silva J., de Brito J., Veiga R. *Incorporation of fine ceramics in mortars*. Construction and Building Materials, V. 23, N. 1, 2009, pp. 556-564.
- [8] Silva N., Campiteli V. *Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas*. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC), Florianópolis, Brasil, 2006, pp. 4349-4358.
- [9] Selmo S., *Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1989, 251 p.
- [10] Ishikawa P. *Propriedades de argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, 2003, 180 p.
- [11] Veiga R. *Comportamento de argamassas de revestimento de paredes - contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1998, 522 p.
- [12] Angelim R. R., Angelim S. C. M., Carasek H. *Influência da adição de finos calcários, siliciosos e argilosos nas propriedades das argamassas e dos revestimentos*. V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (SBTA), São Paulo, Brasil, 2003, pp. 401-416.
- [13] Veiga M. R. *A methodology to evaluate the cracking susceptibility of renders: equipment, tests and criteria*. Experimental data. International Masonry Conference, London, 1998.
- [14] Silva N. G., Buest G., Campiteli V. C. *Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas*. VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (SBTA), Florianópolis, Brasil, 2005, pp. 12-22.
- [15] Kruger F. R., Oliveira D. L. A., Braga S. R. O. Q. *Incorporação de vidro plano moído em substituição ao cimento e ao agregado miúdo (areia) em argamassas de concreto*. 31^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Águas de Lindóia, 2008.
- [16] Oliveira R., de Brito J., Veiga R. *Redução do teor de cimento em argamassas com incorporação de agregados finos de vidro*. Revista Betão, submetido para publicação.
- [17] Penacho P., de Brito J., Veiga R. *Mitigação da expansão por reacção álcali-silica com a incorporação de resíduos muito finos de vidro*. Revista Engenharia Civil, submetido para publicação.
- [18] Hudson B. *Modification to the fine aggregate angularity test*. Seventh annual international center for aggregates research symposium, Austin, USA, 1999.
- [19] Veiga M. R. *Influence of Application Conditions on the Cracking Susceptibility of Renderings*. RILEM Publications S.A.:R.L., Concrete Science and Engineering, V. 2, 2000, pp.134-140.

- [20] Magalhães A.C., Moragues A., Veiga M. R. *Application of some methods on evaluation of porous systems of wall renderings*. VII Congreso internacional de rehabilitación del patrimonio y edificación, Lanzarote, Espanha, 2004 [artigo 109].
- [21] Veiga M. R., Abrantes V. *Improving the cracking resistance of rendering mortars. Influence of composition factors*. International Journal for Housing Science and Its Applications, V. 22, N. 4, 1998, pp. 245-254.
- [22] Gomes A. *Propriedades das argamassas de revestimento de fachadas*. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, 2008, 17 p.
- [23] Détriché C., Grandet J., Maso J. *Dessiccation des mortiers d'enduit*. Matériaux et Construction, V. 16, N. 4, 1983, pp. 251-258.
- [24] Fragata A., Paiva H., Velosa A. L., Veiga M. R., Ferreira V. M., *Application of crushed glass residues in mortars*. Portugal SB07: Sustainable Construction, Materials and Practices - Challenges of the Industry for the New Millennium, Lisbon, 2007, pp. 923-927.
- [25] Oliveira R. *Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos de vidro - efeito de fíler e pozolânico*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2012, 282 p.

8. NORMALIZAÇÃO

Cahier 2669-4, Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation, "Modalités d'essais", Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Juillet-Août 1993.

EN 1015-1, European Standard, "Methods of test for mortar for masonry - Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis)", European Committee for Standardization (CEN), October 1998.

EN 1015-2, European Standard, "Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars", European Committee for Standardization (CEN), October 1998.

EN 1015-3, European Standard, "Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)", European Committee for Standardization (CEN), February 1999.

EN 1015-6, European Standard, "Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar", European Committee for Standardization (CEN), October 1998.

EN 1015-7, European Standard, "Methods of test for mortar for masonry - Part 7: Determination of air content of fresh mortar", European Committee for Standardization (CEN), October 1998.

EN 1015-10, European Standard, "Methods of test for mortar for masonry - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar", European Committee for Standardization (CEN), August 1999.

EN 1015-11, European Standard, "Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar", European Committee for Standardization (CEN), August 1999.

EN 1015-12, European Standard, "Methods of test for mortar for masonry - Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates", European Committee for Standardization (CEN), February 2000.

EN 1015-18, European Standard, "Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar", European Committee for Standardization (CEN), December 2002.

EN 1015-21, European Standard, "Methods of test for mortar for masonry - Part 21: Determination of the compatibility of one-coat rendering mortars with substrates", European Committee for Standardization (CEN), December 2002.

FE Pa 43, Ficha de ensaio, "Ensaio de avaliação de características mecânicas por ultrasons", Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, Setembro 2010.

NF B 10-511, Norme Française Homologué, "Mesure du module d'élasticité dynamique", Association Française de Normalisation (AFNOR), Avril 1975.

prEN 1015-8, draft European Standard, "Methods of test for mortar for masonry - Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar", European Committee for Standardization (CEN), September 1999.