

AVALIAÇÃO DO RISCO DE FISSURAÇÃO POR RETRAÇÃO PLÁSTICA EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**Miguel José Oliveira^{1*}, Luis Silva², Pedro Sequeira², José de Vilhena G. Gonçalves¹**

1: ISE – Universidade do Algarve
Faro, Portugal
mjolivei@ualg.pt

2: Saint - Gobain Weber Portugal
Aveiro, Portugal

Palavras-chave: Argamassas, Fissuração por retração plástica, Métodos de ensaio

Resumo

A seleção de argamassas de reabilitação ou reposição de edifícios antigos deve basear-se em critérios que garantam a compatibilidade funcional e estética com os materiais antigos remanescentes e toda a construção.

A qualidade dos rebocos é um fator importante para a salubridade, conforto, durabilidade e aparência estética dos edifícios antigos e novos.

A fissuração é um defeito com um impacto significativo no desempenho do revestimento, nomeadamente na sua impermeabilização e durabilidade, e um dos mais difíceis de avaliar e controlar, devido à sua dependência de vários fatores e também pela complexidade dos fenômenos. Depende de vários fatores que mudam no tempo como a evolução da retração, a relação entre o módulo de elasticidade e a resistência à tração e a capacidade da argamassa para dissipar tensões. Além disso, muitas dessas condições estão fortemente relacionadas com o ligante principal da argamassa. A retração plástica é um fenómeno comum e pode obrigar a cuidados especiais durante a aplicação.

Em condições especiais, nomeadamente em grandes superfícies com altos índices de evaporação e altas temperaturas durante a aplicação podem surgir fissurações por retração plástica antes que a argamassa tenha endurecido completamente. Este tipo de fissuração deve ser totalmente evitado.

As normas europeias estabelecem métodos de ensaios para argamassa de alvenaria. Por outro lado, apenas algumas entidades de investigação, como o LNEC, apresentam métodos para avaliação da resistência de uma argamassa à fissuração o que limita processos de avaliação expeditos, capazes de fornecer uma resposta preliminar rápida.

Neste trabalho, dois métodos de ensaio diferentes são usados para avaliar a suscetibilidade à fissuração plástica em quatro argamassas diferentes.

Particularmente um dos métodos é mais expedito e baseia-se na criação de diferentes condições de adesão numa superfície de um tijolo, em ambientes específicos. O segundo método centra-se na aplicação de argamassas em superfícies maiores que são colocadas num túnel de vento com diferentes temperaturas, humidades relativa e velocidade do vento. Através dos resultados obtidos foi possível fazer algumas considerações sobre o âmbito e limitações de cada método.

1. INTRODUÇÃO

As fachadas constituem um elemento importante de um edifício com influência ao nível do conforto, segurança e estética. A sua relevância compreende a constituição de uma barreira entre os ambientes interior e exterior, por prover resistência ao calor, humidade, vento e outros fluxos segundo determinados limites. A estética, a impermeabilização e, mais recentemente, a térmica podem ser consideradas como as funções mais relevantes de uma fachada ao longo do seu ciclo de vida. Por forma a assegurar que estas funções são eficientemente desempenhadas, importa garantir um conjunto de pressupostos cujo cumprimento assegura o desempenho adequado da fachada. Por exemplo, para assegurar a resistência à penetração de água, é fundamental que os elementos da fachada sejam, por si, resistentes à própria água; para tal, propriedades como o coeficiente de absorção de água por capilaridade, a permeabilidade à água sob pressão e a permeabilidade ao vapor de água constituem-se como fatores-chave no desempenho global dos elementos a este nível. Por outro lado, ainda que estas propriedades sejam asseguradas, o desempenho da fachada neste contexto exige que os constituintes da mesma não fissurem, sob pena de constituírem um canal de transporte de humidade para o interior. Novamente, para esta condição, uma série de outros comportamentos são essenciais como sejam a estabilidade mecânica entre elementos, que implica considerar propriedades de elementos como módulo de elasticidade, coeficiente de dilatação térmica, aderência e variação dimensional (com destaque para a retração), seja qual for a solução de revestimento adotada. [1,2]

Os revestimentos de paredes, pela sua exposição e funções protetoras são dos primeiros elementos do edifício a sofrer degradação visível. Os rebocos, como camada de proteção que são, encontram-se sujeitos a inúmeras ações agressivas que conduzem à sua degradação precoce. A necessidade de conferir ao reboco as características desejáveis para assegurar o seu bom desempenho é um processo complexo e de difícil quantificação.

A água é um dos agentes de destruição mais poderosos. De fato, fenômenos de congelamento e descongelamento, dissolução e transporte de sais e lenta dissolução de constituintes são muito agressivos a materiais porosos como é o caso das argamassas de revestimento.

A seleção de argamassas para construção nova ou para a renovação de edifícios antigos deve ser baseada em critérios que garantam a verificação da compatibilidade funcional e estética com os materiais antigos remanescentes e com toda a construção, assim como apresentarem elevada durabilidade.

A compatibilidade funcional de argamassas de alvenaria significa não danificar a alvenaria antiga, se for esse o caso, e ser capaz de protegê-la contra ações externas, como humidade, ações climáticas, forças de impacto e ataque químico.

Alguns fenômenos usuais produzem tensões de tração na argamassa que também podem ser transmitidas para a alvenaria. São exemplo a retração restringida pela aderência ao suporte e variações de volume térmico e higrotérmico das argamassas.

Assim, algumas das principais características das argamassas novas e de renovação são:

- Capacidade de proteção da água;

- Baixa suscetibilidade à fissuração;
- Baixas tensões desenvolvidas durante a variação volumétrica de vido à retração restringida e variações térmicas e higrotérmicas.

As normas europeias do CEN estabelecem métodos de ensaio para argamassas de alvenaria [3]. No entanto, para alguns aspetos relevantes do desempenho de argamassas ainda não existem métodos de ensaio padronizados para caracterizar certas propriedades de forma satisfatória e científica. Como é o caso da avaliação da suscetibilidade ao risco de fissuração e em particular ao risco de fissuração por retração plástica.

A avaliação da suscetibilidade à fissuração tem elevada complexidade, pois depende de vários fatores que mudam no tempo: a evolução da retração; a relação entre o módulo de elasticidade e a resistência à tração; e também da capacidade da argamassa para dissipar as tensões pelo relaxamento [4].

A fissuração é um defeito que apresenta um impacto extremamente significativo no desempenho do revestimento, nomeadamente na sua impermeabilização e durabilidade, e é um dos mais difíceis de avaliar e controlar.

Neste trabalho, são apresentados dois métodos de ensaio para verificação da suscetibilidade de fissuração de argamassas de revestimento por retração plástica. De facto, em condições especiais, nomeadamente em grandes superfícies com altos índices de evaporação e altas temperaturas durante a aplicação podem surgir fissurações por retração plástica antes que a argamassa tenha endurecido completamente. Este tipo de fissuração deve ser totalmente evitado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS DE ENSAIO

2.1. Argamassas ensaiadas

Neste trabalho avaliou-se o risco de fissuração por retração plástica através do uso de 4 argamassas de revestimento, três das quais de fabrico industrial com a designação WCC, WCA e WTA e uma argamassa tradicional de cal aérea no traço, em massa, de 1:1:2 (cal; areia 0,5-1,2 mm; areia 0,1-0,5 mm). No caso das argamassas industriais, a sua composição compreende sobretudo ligantes maioritários de cal e cal hidráulica, agregados e adjuvantes. No caso particular de WTA, compreende ainda agregados leves pelo que resulta numa densidade e condutibilidade térmica menores.

Na tabela 1 são apresentadas várias propriedades dessas argamassas, em pó, no estado fresco e endurecido, determinadas no laboratório da Saint - Gobain Weber Portugal em Aveiro. Procedeu-se a um conjunto de ensaios que se enunciam em seguida (com a respetiva indicação da norma de ensaio adotada [3,5,6]):

- 1) Determinação da massa volúmica do pó;
- 2) Avaliação da distribuição de partículas;
- 3) Determinação da massa volúmica aparente da pasta (EN 1015-6);
- 4) Determinação do teor de ar introduzido (EN 1015-7);
- 5) Determinação das resistências à tração por flexão e compressão. (EN 1015-11);
- 6) Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade/C (EN 1015-18);
- 7) Determinação da massa volúmica aparente do produto endurecido (EN 1015-10);
- 8) Determinação da variação dimensional ([5]).

Para a determinação das propriedades de produto endurecido, foram preparados um total de 3 provetes de dimensões 4cm*4cm*16cm e 5 provetes de dimensões 2.5cm*2.5cm*28.5cm, obtidos em moldes metálicos correntes.

2.2. Métodos de ensaio

O risco de fissuração por retração plástica das argamassas caracterizadas na tabela 1 foi avaliado por dois métodos distintos não normalizados. Particularmente um dos métodos é mais expedito e baseia-se na criação de diferentes condições de adesão numa superfície de um tijolo, em ambientes específicos. Este método foi designado neste trabalho pelo método A. O segundo método centra-se na aplicação de argamassas em superfícies maiores que são colocadas num túnel de vento com temperatura, humidade relativa e velocidade do vento controlados, designado neste trabalho por método B.

Método A:

As figuras 1a e 1b apresentam os passos consecutivos relativos à preparação da argamassa sobre os suportes em causa e consequente exposição a condições para promoção de fissuração durante a fase plástica:

1. Preparação do suporte (reboco ou tijolo) por aplicação de uma banda com espessura de 5mm espessura e 50mm de largura, revestida com fita não absorvente;
2. Zona de suporte pré-humedecido, quando se pretende estudar este parâmetro;
3. Aplicação do revestimento em estudo, em espessuras entre 10 e 20mm;
4. Sujeição do provete preparado à ação de vento, com auxílio de uma ventoinha em velocidade menor, quando se se pretende estudar este parâmetro;
5. Observação da resistência à fissuração durante 48 horas de ensaio.





Figura 1a. Passos consecutivos a realizar durante a preparação dos provetes e execução do ensaio de resistência à fissuração em fase plástica.



Figura 1b. Demonstração de fissuração em fase plástica durante um ensaio realizado.

Método B:

Este método foi realizado no laboratório de Materiais de Construção do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve e iniciou-se com a preparação das argamassas e respetiva aplicação sobre tijoleiras com as dimensões de 80 cm de comprimento por 24 cm de largura por 4 cm de espessura. A camada de argamassa aplicada foi de 2 cm de espessura. Após a aplicação das argamassas as tijoleiras são colocadas no túnel de vento a uma temperatura de 24 °C, a uma humidade relativa de 40% e a uma velocidade do ar de 6 m/s. (Figura 2). Para cada conjunto de provetes a velocidade do ar de 6 m/s é mantida apenas durante as primeiras 24 h.



Figura 2. Lado esquerdo – aplicação da argamassa, Lado direito – Colocação dos provetes no túnel de vento.

Neste método, para cada argamassa foram preparadas 4 tijoleiras, 2 tijoleiras secas ao ar e 2 tijoleiras imersas em água a 20°C durante 2 h. As tijoleiras saturadas foram limpas de modo a remover a água superficial antes da aplicação da argamassa. Posteriormente e para os tempos de 1 hora, 4 horas, 24 horas e 7 dias, após o instante zero (mistura do pó com a água), as tijoleiras foram retiradas do túnel de vento e foram fotografadas superficialmente. Depois através da utilização de meios informáticos foi contabilizado o somatório dos comprimentos das fissuras registadas. A figura 3 apresenta um exemplo de um provete e respetivo apuramento das fissuras registadas.



Figura 3. Lado esquerdo – fotografia de um provete, Lado direito – identificação das fissuras.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização geral das argamassas em estudo

As tabelas 1a e 1b apresentam os resultados relativos à caracterização das argamassas em estudo, segundo a normalização que lhes é relativa.

Tabela 1a. Propriedades das argamassas ensaiadas ao nível do pó e produto em pasta.

Propriedade / Argamassa		WCC	WCA	WTA	Argamassa Tradicional Cal
Produto em Pó					
MVA Pó (g/cm ³)		1,16	1,27	0,16	0,91
Granulometria	1250	3,7	11,4	12,4	0,9
	630	14,8	17,2	1,2	15,4
	315	30,7	20,9	1,3	40,5
	160	22	22,4	1,9	25,1
	80	3,8	5,6	5,8	11,2
	<80	25	22,5	77,4	6,9
Produto em Pasta					
Água de Amassadura (%)		20	18,5	120	28
MVA Pasta (g/cm ³)		1,38	1,55	0,3	1,76
Presa (h:m)	Início	7h30m	8h45m	13h00m	> 17H00m
	Fim	10h30m	11h15m	15h45m	--
Retenção H ₂ O (%)		84,72	98,27	90,28	93,48
Teor de Ar Induzido (%)		29	26	29	--
Espalhamento (mm)		166	140	114	159

Conforme indicado, a argamassa WTA apresenta as maiores diferenças, sobretudo ao nível da água de amassadura, massa volúmica aparente e aderência. Face ao apresentado, é admissível que a resistência à fissuração na fase plástica seja potenciada pela água de amassadura elevada e pela concentração de finos presentes nesta versão. Também é admissível que a argamassa em si, apresentando aderência muito baixa, apresente uma coesão interna baixa e, conseqüentemente, maior risco de fissuração.

Tabela 1b. Propriedades das argamassas ensaiadas ao nível do produto endurecido.

Propriedade / Argamassa		WCC	WCA	WTA	Argamassa Tradicional Cal
Produto Endurecido					
MVA Endurecido (g/cm ³) - 28 dias		1,42	1,59	0,22	1,53
Δ massa (g/Kg) - 28 dias		73,11	96,71	311,32	171,22
δ_r (mm/m) - 28 dias		-1,207	-1,935	-1,743	-6,391
Resistências Mecânicas 28 Dias(MPa)	Resistência à Flexão	1,34	0,97	0,29	0,45
	Resistência à Compressão	2,58	1,14	0,63	0,73
E (MPa) - 28 Dias		6250	6365	155	6185
Capilaridade [Kg / (m ² . $\sqrt{\text{min}}$)] - 28 Dias		2,17	3,12	2,06	28,5
μ		6,68	6,78	5,89	7,15
Aderências (MPa; Rotura)	Adobe, seco com ventilação	0,04 FPC/FPA/FPB	0,07 FPC/FPB	0,01 FPA/FPB/FPC	0 FPA Parcialmente destacado
	Adobe, humedecido com ventilação	0,02 FPC/FPA	0,08 FPC/FPA/FPB	0,01 FPA/FPC	0 FPA Parcialmente destacado
	Adobe, seco sem ventilação	0,15 FPC/FPA	0,07 FPC/FPA/FPB	0,06 FPC/FPB	0 FPA Totalmente destacado
	Adobe, humedecido sem ventilação	0,17 FPC/FPA/FPB	0,16 FPB	0,07 FPC/FPB	0 FPA Parcialmente destacado
	Tijolo, seco com ventilação	0,06 FPB/FPA	0,25 FPB	0,02 FPA	0 FPA Totalmente destacado
	Tijolo, humedecido com ventilação	0,07 FPB	0,16 FPB	0,04 FPB	0 FPA Totalmente destacado
	Tijolo, seco sem ventilação	0,16 FPB/FPA	0,24 FPB	0,20 FPB/FPC	0 FPA Totalmente destacado
	Tijolo, humedecido sem ventilação	0,21 FPB/FPA	0,27 FPB	0,16 FPB/FPC	0 FPA Totalmente destacado

A outra argamassa com maior potencial para fissuração é a argamassa tradicional por ser constituída ricamente em cal. Com efeito, esta versão apresenta uma retração muito elevada e resistência mecânica menor, fatores que sugerem maior tendência a fissuração. Por outro lado, as argamassas WCC e WCA, não obstante serem constituídas maioritariamente por cal como ligante, apresentam retenção de água aceitável, retração controlada, entre outras, o que a posiciona como expectável bom comportamento à fissuração em fase plástica.

3.2. Resultados obtidos pelo método A

Na tabela 2 apresentam-se os resultados dos ensaios de fissuração plástica e fissuração no estado endurecido para as 4 argamassas testadas pelo método A.

Tabela 2. Resultados obtidos pelo método A.

Fase de fissuração	Base	WCC	WCA	WTA	Argamassa Tradicional Cal
Fissuração na fase plástica	Adobe, seco com ventilação	Sem fissuras	Sem fissuras	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Adobe, humedecido com ventilação	Sem fissuras	Sem fissuras	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Adobe, seco sem ventilação	Sem fissuras	Sem fissuras	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Adobe, humedecido sem ventilação	Sem fissuras	Sem fissuras	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Tijolo, seco com ventilação	Sem fissuras	Fissuração quase impercetível	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Tijolo, humedecido com ventilação	Sem fissuras	Fissuração quase impercetível	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Tijolo, seco sem ventilação	Sem fissuras	Fissuração quase impercetível	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Tijolo, humedecido sem ventilação	Sem fissuras	Fissuração quase impercetível	Sem fissuras	Fissuração acentuada
Fissuração na fase endurecida	Adobe, seco com ventilação	Sem fissuras	Sem fissuras	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Adobe, humedecido com ventilação	Sem fissuras	Sem fissuras	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Adobe, seco sem ventilação	Sem fissuras	Sem fissuras	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Adobe, humedecido sem ventilação	Sem fissuras	Sem fissuras	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Tijolo, seco com ventilação	Sem fissuras	Fissuração quase impercetível	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Tijolo, humedecido com ventilação	Sem fissuras	Fissuração quase impercetível	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Tijolo, seco sem ventilação	Sem fissuras	Fissuração quase impercetível	Sem fissuras	Fissuração acentuada
	Tijolo, humedecido sem ventilação	Sem fissuras	Fissuração quase impercetível	Sem fissuras	Fissuração acentuada

Os resultados obtidos pelo método em questão são particularmente relevantes por serem obtidos a partir de uma metodologia que, apesar de qualitativa, tem sido objeto de comparação constante com o comportamento em situações reais de aplicação. Com efeito, as argamassas WCC, WCA e WTA apresentam bom comportamento após execução do método em questão e o seu comportamento *in situ* também corresponde à mesma tendência.

3.3. Resultados obtidos pelo método B

Na tabela 3 apresentam-se os resultados dos ensaios de fissuração plástica e fissuração no estado endurecido para as 4 argamassas testadas pelo método B. Este método apresenta a particularidade de resultados com uma componente quantitativa maior, a partir do tempo exato do aparecimento da fissura e da sua extensão.

Tabela 3. Resultados obtidos pelo método B.

Comprimento total das fissuras por provete (cm)				
Tempo	1 h	4 h	24 h	7 dias
WCC				
Tijoleira seca	0	0	0	0
Tijoleira seca	0	0	0	0
Tijoleira húmida	0	24,4	31,4	34,7
Tijoleira húmida	0	0	0	0
WCA				
Tijoleira seca	41,9	75,4	76,1	91,3
Tijoleira seca	36,4	66,5	83,2	83,8
Tijoleira húmida	13,4	55,8	65,5	74,5
Tijoleira húmida	7,6	40,8	56,3	71,5
WTA				
Tijoleira seca	27,1	70,5	122,5	159,5
Tijoleira seca	20,9	61,4	144,4	159,9
Tijoleira húmida	0	81,2	103,8	152,8
Tijoleira húmida	0	68,9	88,7	95,1
Argamassa tradicional de cal				
Tijoleira seca	89,7	89,9	90,4	91,5
Tijoleira húmida	114,2	275,6	280,0	280,3

3.4. Análise comparativa de resultados

Verifica-se que os dois métodos foram sensíveis relativamente às argamassas ensaiadas embora com algumas diferenças relativamente ao comportamento de algumas situações.

O método A reporta a informação num formato mais qualitativo enquanto o método B permite a quantificação da evolução da fissuração ao longo do tempo. Relativamente ao método B foi possível registar a influência do uso de bases com diferentes condições de humidade (tijoleiras secas ou saturadas). Com efeito, é nítida a influência positiva do uso de bases cerâmicas saturadas para as argamassas WCA e WTA na diminuição da fissuração nas primeiras horas. Ainda sobre a influência da base e para a argamassa tradicional de cal os resultados referentes apenas ao comprimento total das fissuras são contraditórios. A figura 4 apresenta os provetes com argamassa tradicional de cal (base seca e saturada) para os tempos de 1 h e 4h.

Para a argamassa aplicada na base seca verifica-se a descolagem logo na primeira hora funcionando posteriormente a argamassa como um provete com retração não restringida. Facto esse que faz com que as leituras dos comprimentos totais das fissuras se mantenham semelhantes nas horas seguintes. Já a argamassa aplicada na base saturada apresenta-se aderente na primeira hora verificando-se a descolagem da base na quarta hora, pelo que para as horas seguintes registam-se comprimentos de fissuras semelhantes.

Para as três restantes argamassas ao longo de todo o ensaio não se registaram destacamentos das bases independentemente de estar estarem secas ou saturadas, o que possibilitou o registo evolutivo do comprimento de fissuração total ao longo do tempo.

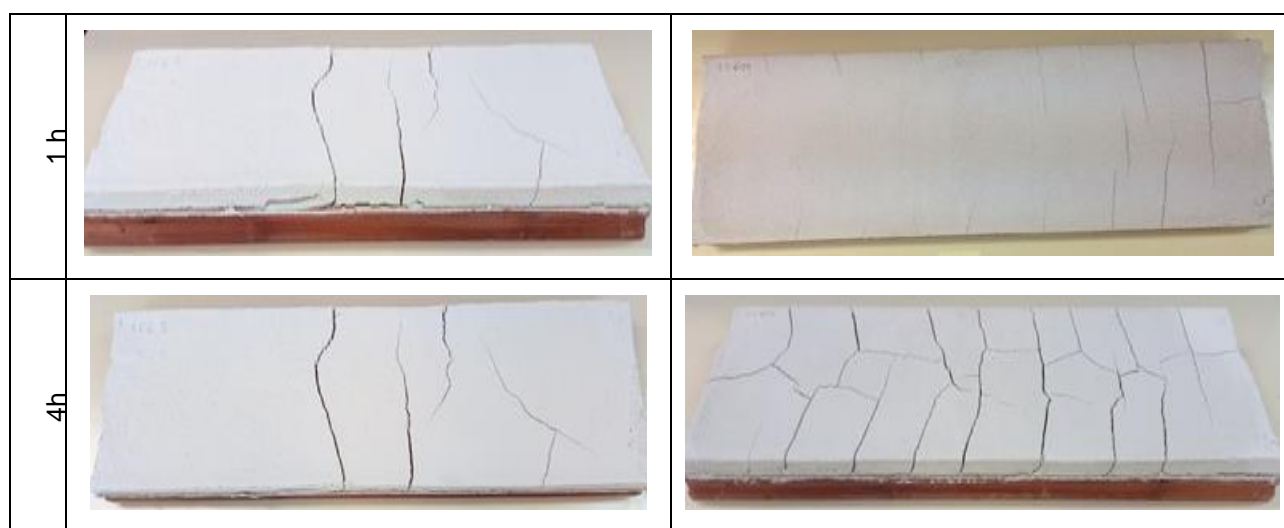


Figura 4. Método B, evolução das fissuras 1h e 4h para a argamassa tradicional de cal.
Lado esquerdo – base seca, Lado direito – base saturada

4. CONCLUSÕES

No trabalho em questão, são apresentados dois métodos de ensaio para verificação da suscetibilidade de fissuração de argamassas de revestimento por retração plástica.

A aplicação dos dois métodos conduziu a resultados diferentes para alguns casos o que justifica a continuidade de trabalhos para melhor interpretação dos mesmos. Admite-se que a principal diferença esteja associada às condições de ventilação utilizadas para os dois métodos.

A ser o caso, interessa compreender com maior detalhe qual dos casos representa melhor situações *in situ* sendo tal o elemento naturalmente escolhido para a seleção.

Apesar de tudo, reconhece-se a facilidade de execução dos dois métodos e a proximidade dos resultados aportados como avaliação da capacidade das argamassas para resistir à fissuração durante os primeiros tempos de cura.

Assim, pretende-se continuar o estudo e otimização dos mesmos, seja pela sua execução com mais comparações com situações reais seja pela sua aplicação a outras argamassas, por exemplo, com ligante prioritário o cimento Portland.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho de investigação contou com a participação dos técnicos dos laboratórios da Saint-Gobain Weber Portugal em Aveiro e do Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve pelo que se agradece a colaboração prestada.

REFERÊNCIAS

- [1] ANFAPA & ITeC, 2008, Morteros Monocapa. Revestimientos de fachada, Asociación Nacional de Fabricantes de Morteros Industriales, Servicio Editorial del ITeC, May.
- [2] Hendriks, L.; Hens, H. (2000), Building Envelopes in a Holistic Perspective. Amsterdam: International Energy Agency, *Energy conservation in Buildings and Community systems*. 1: 101p.
- [3] Comité Européen de Normalisation (CEN) - Methods of test for mortar for masonry. Parts 1 to 21. Brussels, 1999. EN 1015-1 to 21.
- [4] Veiga, M. Rosário – A Methodology to Evaluate the Cracking Susceptibility of Renders: Equipment, tests and criteria. Experimental data. “5th International Masonry Congress”, London, 1998. LNEC, Lisboa, 1998 J
- [5] Certification CSTB des Enduits Monocouches d’imperméabilisation, Modalités d’essais, Cahiers du CSTB 2669-4, 1993.
- [6] NP EN 196-1:2006-Métodos de ensaio de cimentos, parte 1: Determinação de resistências mecânicas.