

Resíduos reciclados como componentes de argamassas.



Luiz A. P. Pereira
DECA - UBI
Portugal
luiz.oliveira@ubi.pt



Pedro M. S. Santos
DECA - UBI
Portugal
pmsantos@portugalmail.pt

Resumo: Este trabalho caracteriza a potencialidade de uso de resíduos, tais como vidro e cerâmica, como componentes de argamassas. Os materiais seleccionados, constituídos por vidro de embalagens e por cerâmica vermelha, foram reduzidos a três intervalos de tamanhos de grãos (0-45 μ m, 45-75 μ m e 75-150 μ m). Após moagem, os resíduos foram caracterizados quanto à forma da partícula, massa volúmica e superfície específica. Foram realizadas argamassas com substituição parcial do cimento por estes materiais (10, 20, 25, 30 e 40%) e determinou-se a resistência à compressão (7, 28 e 90 dias) e o índice de actividade pozolânica e expansibilidade. Os resultados dos ensaios mecânicos, do índice de reactividade, bem como de expansibilidade viabilizam o uso do resíduo de vidro e de material cerâmico como componente de argamassas.

Palavras-chave: Argamassa, pozolana, resistência compressão, vidro.

1. INTRODUÇÃO

Em Portugal a “cultura” da reciclagem começa a ter alguma importância, embora exista ainda uma grande percentagem de resíduos sólidos urbanos e industriais que por não serem reciclados, são depositados em aterros.

Entre os resíduos sólidos, o vidro é o material com 100% de potencial de reciclagem, porém devido a uma série de circunstâncias, apenas 40% dos vidros são actualmente reciclados. Dentre estes, os vidros coloridos são os menos reciclados. O vidro não é biodegradável e o depósito em aterros não é a melhor solução em termos ambientais, sendo necessário obter novas utilizações para este material. Outro material que também não é reciclado em grande quantidade é o resíduo de cerâmica vermelha resultante do processo de fabrico ou das obras de construção civil. No entanto, estes resíduos podem ser constituídos de componentes com capacidades de desempenhar um papel importante como material de construção. Mesmo na forma de “lixo”, os materiais cerâmicos apresentam na sua estrutura uma forma de sílica susceptível de se combinar com os

hidróxidos de cálcio do cimento Portland ou da cal que constituem as argamassas. Resumidamente, estes resíduos possuem grande potencial de serem transformados em pozolanas, necessitando apenas da sua adequação física e o conhecimento do seu desempenho.

Em Portugal, os materiais pozolanicos começam a não ser suficientes para prover toda a procura da indústria de construção. Actualmente, a indústria de construção civil procura alternativa para satisfazer as necessidades crescentes de utilização de cimento e da produção de betão.

O vidro é constituído por uma mistura de silicatos obtidos por fusão, tendo como elemento constituinte principal a sílica ou o óxido de silício. Sabemos que o vidro e o cimento são quimicamente incompatíveis. O alcalóide do cimento Portland e a sílica do vidro reagem na presença de humidade resultando uma reacção química denominada alcali-sílica (reacção de ASR). Por esta razão, estudos com o uso de vidro em betão como parte do agregado grosso nem sempre tiveram bons resultados devido à redução da resistência e à expansão excessiva [1].

Estudos recentes efectuados por Karamberi & Moutsatsou [2] mostram que o tamanho da partícula de vidro é um factor crucial para reacção de ARS acontecer. Para que não ocorra expansão excessiva há que ser determinado o tamanho máximo da partícula. Segundo Shao, partículas inferiores a 75µm não causam expansão significativa suficiente para alteração da durabilidade [1].

Tal como no caso do vidro, a cerâmica também começa a ser utilizada como pozolana, sendo possível substituir parte do cimento por cerâmica sem que se alterem muito as suas propriedades [3].

Podemos assim obter materiais com efeitos pozolanicos através da reciclagem contribuindo para a redução de desperdícios e melhorando o meio ambiente. Este trabalho objectiva a verificação da potencialidade pozolanica de vidros de rejeito de garrafas e resíduos de tijolos e telhas, bem como as propriedades das argamassas de cimento e areia resultantes da substituição parcial do cimento pelos resíduos estudados.

2. MATERIAIS

Os materiais utilizados para a composição de argamassas foram: cimento Portland CEM I 42,5 R, areia do Tejo, água e pó de vidro ou de cerâmica. A areia do Tejo possui as seguintes características: dimensão máxima 4,76mm e módulo de finura 2,97 e massa volúmica 2450 kg/m³. O vidro e a cerâmica são caracterizados mais detalhadamente em seguida.

2.1. Vidro

O vidro utilizado foi recolhido nos Serviços Municipalizados da Covilhã, tendo sido feita uma recolha selectiva de forma a obter uma amostra de vidro de cor âmbar, verde e incolor. Posteriormente as amostras, moídas nas fracções 0-45, 45-75 e 75-150 µm foram analisadas através da difracção de raio-x de forma a se obter a sua composição, e observado pelo microscópio electrónico para se conhecer a sua forma.

O resultado da análise de difracção de raio-x é apresentado na Tabela 1, sendo os valores expressos em termos de percentagem.

A forma das partículas também foi analisada e constatou-se que a forma preponderante, que resulta do processo de moagem, é a laminar (

Figura 1 - Análise microscópica do vidro (Âmbar, Verde e Incolor).

Tabela 1 - Análise Elementar Óxidos %

Vidro	Composição elementar					
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO
Âmbar	10.37	0.81	3.09	73.27	1.10	11.36
Verde	10.54	1.18	2.54	72.25	1.15	12.35
Incolor	9.94	0.75	2.57	74.07	1.14	11.53

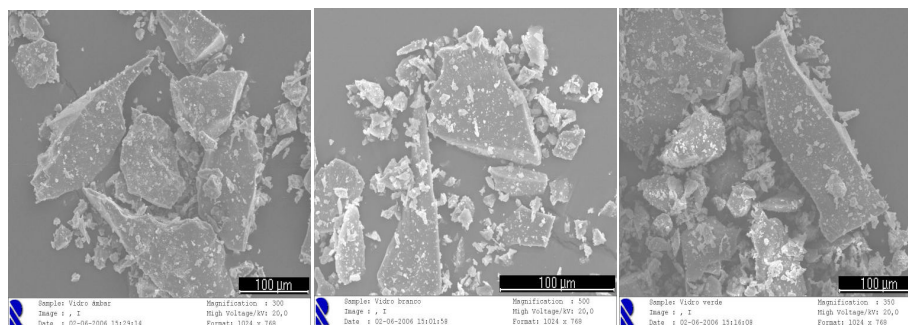


Figura 1 - Análise microscópica do vidro (Âmbar, Verde e Incolor)

2.2. Cerâmica

A cerâmica utilizada neste estudo é originária da produção nacional de telha e tijolos. Embora não se conheça a temperatura de cozedura dos materiais cerâmicos utilizados neste estudo, sabe-se que de uma maneira geral as telhas são submetidas as temperaturas mais elevadas, da ordem de 1100°C a 1200°C, do que os tijolos cerâmicos. Após moagem a forma das partículas dos resíduos cerâmicos, tanto de telhas como de tijolos, apresentam maior regularidade com tendência para um aspecto arredondado.

A tabela 2 apresenta as propriedades físicas determinadas neste trabalho, tais como a massa volúmica e a superfície específica.

3. MÉTODOS

3.1. Processo de transformação dos materiais

O material depois de recolhido foi limpo e posteriormente moído. Como se pretendia fracções granulométricas diferentes, utilizou-se primeiramente um moinho de maxilas e em seguida o material foi seleccionado por peneiração para obter partículas de 75-150 μ m. Para a obtenção das outras fracções mais finas pretendidas (0-45 e 45-75 μ m) recorreu-se ao moinho de bolas e a peneiração do material. Os aspectos dos materiais resultantes dos processos de moagem são apresentados na Figura 2.

A superfície específica do material resultante das moagens foi determinada através do permeabilímetro de Blaine (Tabela 2).



Figura 2 – Material após moagem (vidro e cerâmica)

3.2. Argamassas

As argamassas foram realizadas e ensaiadas de acordo com a norma NP EN 196-1 [4]. Para cada argamassa foram moldados 9 corpos de prova prismáticos de 40x40x160 mm, de forma a ensaiar 3 corpos de prova aos 7, 28 e 90 dias.

Para se conhecer a influência das partículas na trabalhabilidade da argamassa, procedeu-se a medida da consistência das argamassas pelo método da mesa de espalhamento, segundo a EN 1015-3 [5].

O traço de argamassa utilizado para o estudo foi 1:3 com relação água/cimento de 0,5. A escolha desta proporção deve-se primeiramente ao interesse neste estudo de avaliar o potencial pozolânico dos resíduos e posteriormente em trabalhar com uma argamassa rica em cimento, a partir da qual haveria vantagens da substituição. As percentagens de substituição de cimento adoptadas foram de 10, 20, 25, 30 e 40 %. Efectuou-se as seguintes séries de argamassas: vidro âmbar e verde com granulometria de 0-45, 45-75 e 75-150 μ m e para vidro incolor, tijolo e telha com a granulometria de 75-150 μ m.

Depois da desmoldagem os provetes foram conservados em água de acordo com a norma NP EN 196-1 [4], e retirados no máximo 15 minutos antes do ensaio.



Figura 3 – Corpos de prova de argamassa com pó de vidro



Figura 4 – Corpos de prova de argamassa com pó de cerâmica

4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

4.1. Massa volúmica e superfície específica

Na fase de moagem determinou-se a massa volúmica e a superfície específica Blaine para melhor caracterização do material. Utilizou-se um permeabilímetro de Blaine de acordo com a norma NP EN 196-6 [6]. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Massa volúmica e superfície específica

Material	Massa volúmica (g/cm ³)	Superfície específica m ² /kg		
		0-45µm	45-75µm	75-150µm
Vidro âmbar	2,509	354	247	146
Vidro verde	2,525	443	292	196
Vidro incolor	2,532	-	-	182
Telha cerâmica	2,445	-	-	399
Tijolo cerâmico	2,660	-	-	544

4.2. Consistência

A realização do ensaio de consistência pela mesa de espalhamento, de acordo com a EN 1015-3/99, permite comparar a acção dos resíduos na consistência da argamassa.

Verificamos que a adição de resíduos de vidro, independentemente da percentagem de substituição, não altera significativamente a consistência da argamassa. Por outro lado, os resíduos de cerâmica alteram a consistência da argamassa sendo que a mesma diminui com o aumento da percentagem de substituição.

Tabela 3 – Valores médios da consistência

Argamassa	Valores médios da consistência (cm)		
	75-150 µm	45-75 µm	0-45 µm
Referência	11,0	11,0	11,0
Âmbar 10%	11,0	11,3	11,2
Verde 10%	11,0	11,0	11,0
Incolor 10%	11,0	-	-
Telha 10%	10,8	-	-
Tijolo 10%	10,6	-	-
Âmbar 20%	11,1	11,3	11,1

Verde 20%	11,0	11,1	11,1
Incolor 20%	11,0	-	-
Telha 20%	10,7	-	-
Tijolo 20%	10,5	-	-
Âmbar 25%	11,0	11,2	11,2
Verde 25%	11,0	10,9	11,2
Incolor 25%	11,0	-	-
Telha 25%	10,7	-	-
Tijolo 25%	10,4	-	-
Âmbar 30%	10,9	11,0	11,3
Verde 30%	11,1	10,9	11,0
Incolor 30%	11,0	-	-
Telha 30%	10,6	-	-
Tijolo 30%	10,3	-	-
Âmbar 40%	11,0	11,0	11,3
Verde 40%	11,1	10,9	11,2
Incolor 40%	11,0	-	-
Telha 40%	10,5	-	-
Tijolo 40%	10,2	-	-

A redução do diâmetro de espalhamento nas argamassas com resíduos cerâmicos se deve ao efeito do aumento da área de molhagem devido estes resíduos apresentarem os valores mais elevados de superfície específica.

4.3. Resistência à compressão

Os valores da resistência à compressão são apresentados na Tabela 4. Podemos observar que a resistência diminui com o aumento da percentagem de substituição para todas as frações granulométricas. Observamos ainda que ao diminuir o tamanho das partículas, a resistência aumenta significativamente para as mesmas percentagens de substituição.

No caso das partículas menores de 45µm verificamos que quer para o vidro âmbar, quer para o verde com substituição de 10% obtemos valores superiores aos de referência. Os valores de resistência à compressão para a argamassa com vidro verde são geralmente superiores aos da argamassa com vidro âmbar, devido ao vidro verde ter superfície específica superior em todas as frações granulométricas. No caso da fração granulométrica 75-150µm a superfície específica não influencia significativamente os resultados de resistência mecânica.

Tabela 4 - Valores de resistência à compressão

Argamassa	Resistência à Compressão (MPa)								
	75-150 µm			45-75 µm			0-45 µm		
	7 dias	28 dias	90 dias	7 dias	28 dias	90 dias	7 dias	28 dias	90 dias
Referência	33,53	36,29	45,25	33,53	36,29	45,25	33,53	36,29	45,25
Âmbar 10%	29,02	34,49	38,24	27,72	35,42	43,39	28,04	39,18	46,02
Verde 10%	28,25	36,07	42,77	27,05	37,92	42,80	29,30	40,12	46,38
Incolor 10%	29,51	33,29	43,60	-	-	-	-	-	-
Telha 10%	26,17	32,37	38,96	-	-	-	-	-	-
Tijolo 10%	27,02	34,11	40,38	-	-	-	-	-	-
Âmbar 20%	25,81	32,05	33,96	23,85	32,48	42,02	25,29	36,99	45,01

Verde 20%	25,35	30,52	40,30	24,65	34,25	39,62	26,46	37,03	44,93
Incolor 20%	25,07	30,38	37,50	-	-	-	-	-	-
Telha 20%	23,05	29,59	38,78	-	-	-	-	-	-
Tijolo 20%	24,99	33,04	38,73	-	-	-	-	-	-
Âmbar 25%	22,91	28,14	33,64	22,62	30,49	40,51	23,63	35,34	44,93
Verde 25%	21,79	29,35	35,83	22,51	32,86	39,77	25,83	36,65	45,21
Incolor 25%	18,07	25,28	31,32	-	-	-	-	-	-
Telha 25%	22,42	28,94	36,08	-	-	-	-	-	-
Tijolo 25%	23,33	30,59	35,03	-	-	-	-	-	-
Âmbar 30%	21,04	21,38	29,12	19,10	29,19	38,86	21,63	33,85	44,18
Verde 30%	19,80	25,49	33,61	21,01	31,11	38,02	-	35,10	42,45
Incolor 30%	17,48	23,23	28,35	-	-	-	-	-	-
Telha 30%	18,98	25,52	35,85	-	-	-	-	-	-
Tijolo 30%	21,30	30,21	33,85	-	-	-	-	-	-
Âmbar 40%	14,38	22,18	25,01	14,74	23,52	34,88	17,49	29,23	41,54
Verde 40%	15,10	20,40	32,28	16,54	28,25	35,31	-	31,38	42,01
Incolor 40%	14,51	19,28	26,35	-	-	-	-	-	-
Telha 40%	16,76	24,74	32,13	-	-	-	-	-	-
Tijolo 40%	18,29	25,90	30,93	-	-	-	-	-	-



Figura 5 – Ensaio de compressão



Figura 6 – Corpo de prova após rotura

4.3. Resistência à flexão

Os valores da resistência à flexão são apresentados na Tabela 5. Observamos que a resistência à flexão aumenta com a diminuição da percentagem de substituição e com a diminuição do tamanho da partícula.

Tabela 5 - Valores de resistência à flexão

Argamassa	Resistência à Flexão (MPa)								
	75-150 μm			45-75 μm			0-45 μm		
	7 dias	28 dias	90 dias	7 dias	28 dias	90 dias	7 dias	28 dias	90 dias
Referência	6,88	7,03	7,73	6,88	7,03	7,73	6,88	7,03	7,73
Âmbar 10%	-	5,39	6,95	6,64	8,67	9,06	6,72	8,13	9,22
Verde 10%	4,14	7,89	6,56	7,81	8,20	8,98	6,64	8,59	8,91
Incolor 10%	5,70	6,17	8,13	-	-	-	-	-	-
Telha 10%	5,94	7,11	7,81	-	-	-	-	-	-
Tijolo 10%	6,56	7,03	8,20	-	-	-	-	-	-

Âmbar 20%	-	6,72	5,78	5,78	7,66	9,45	5,94	8,52	10,08
Verde 20%	5,00	6,41	8,67	6,56	7,66	7,89	6,64	8,28	9,53
Incolor 20%	5,16	6,72	7,50	-	-	-	-	-	-
Telha 20%	5,78	6,64	7,81	-	-	-	-	-	-
Tijolo 20%	5,63	6,72	8,13	-	-	-	-	-	-
Âmbar 25%	-	3,39	7,19	5,23	7,89	8,13	5,86	8,20	10,08
Verde 25%	5,47	6,25	6,25	5,47	7,73	9,30	6,25	7,50	9,14
Incolor 25%	4,92	6,17	7,73	-	-	-	-	-	-
Telha 25%	5,00	6,12	7,50	-	-	-	-	-	-
Tijolo 25%	5,63	7,19	8,05	-	-	-	-	-	-
Âmbar 30%	-	3,67	6,09	4,30	6,09	8,83	5,23	8,59	9,77
Verde 30%	4,84	7,19	7,19	5,94	8,52	7,50	-	7,97	8,36
Incolor 30%	3,91	5,00	7,42	-	-	-	-	-	-
Telha 30%	4,14	6,25	7,73	-	-	-	-	-	-
Tijolo 30%	5,55	6,17	7,81	-	-	-	-	-	-
Âmbar 40%	-	5,08	5,16	4,30	5,63	8,91	4,77	7,81	10,39
Verde 40%	4,38	5,31	7,11	4,84	7,73	8,05	-	7,97	8,98
Incolor 40%	3,91	5,70	6,64	-	-	-	-	-	-
Telha 40%	4,30	6,17	7,81	-	-	-	-	-	-
Tijolo 40%	3,91	6,64	7,50	-	-	-	-	-	-

4.4. Reactividade pozolânica

A determinação da reactividade pozolânica foi realizada em conformidade com a norma NP EN 450 [7]. O índice de actividade é expresso em percentagem e é a razão entre a resistência à compressão da argamassa preparada com 75% de cimento e 25% de material a estudar, e a resistência à compressão de argamassa padrão. Este índice aos 28 e aos 90 dias deve ser de pelo menos 75% e 85% da argamassa padrão, respectivamente.

Apresenta-se de seguida a percentagem de resistência à compressão para o vidro âmbar e verde, ao fim de 28 e 90 dias (Figura 7 e Figura 8), nas três fracções granulométricas estudadas.

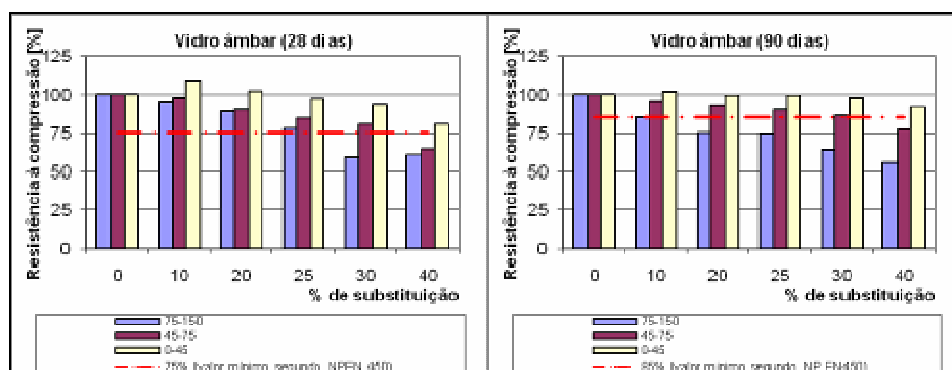


Figura 7- Resistência à compressão aos 28 e 90 dias para o vidro âmbar

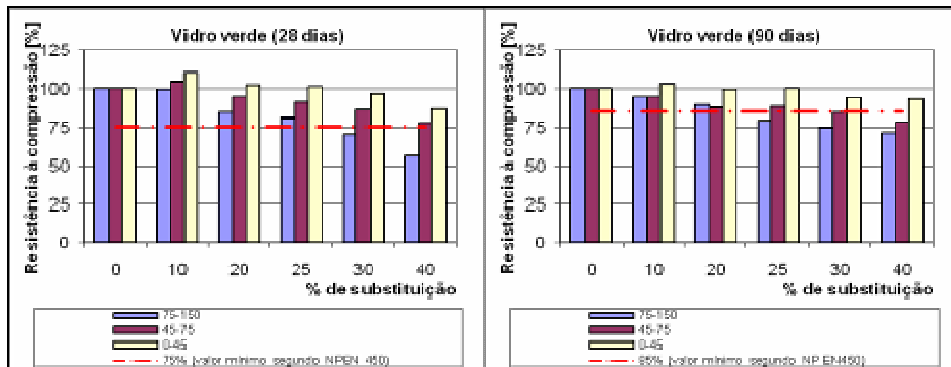


Figura 8 - Resistência à compressão aos 28 e 90 dias para o vidro verde

De acordo com a norma NP EN 450 o vidro âmbar e verde verifica os requisitos mínimos de resistência para as granulometrias de 0-45 μ m e 45-75 μ m.

4.5. Reacção alcali - sílica

A expansão foi determinada segundo a norma ASTM C 1260-94 [8] para resíduos das três cores (âmbar, verde e incolor). Todas as argamassas apresentaram expansões menores que 0,10% sendo classificadas pela norma como tendo comportamento inócua à reacção com os alcalis.

A Figura 9 mostra que é a argamassa com 25% de substituição de cimento por vidro de cor âmbar com expansão mais alta de todas as amostras ensaiadas. Esta maior expansão é devida à maior quantidade de cimento, portanto maior teor de alcalis, que esta argamassa possui.

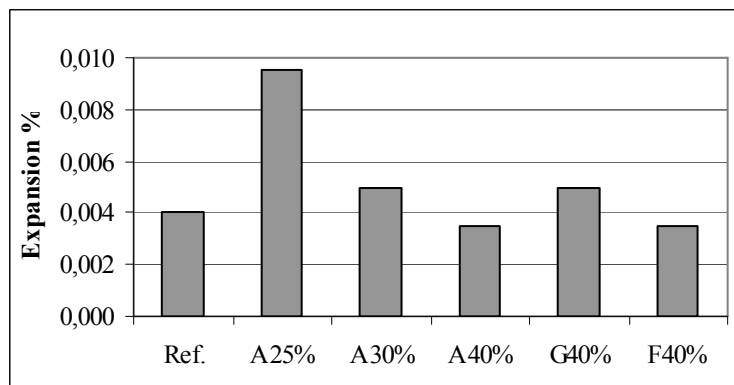


Figura 9 – Expansão da argamassa

5. CONCLUSÃO

A consistência da argamassa fresca com incorporação de resíduos da fracção granulométrica 75-150 μm não se altera significativamente no caso do vidro, mas para os resíduos cerâmicos há uma diminuição da consistência, devido as suas elevadas superfícies específicas.

Comparando-se a evolução da resistência à compressão das argamassas com os diferentes resíduos e diferentes fracções granulométricas estudadas pode-se concluir que os coeficientes de aumento de resistência são semelhantes para os resíduos estudados na fracção granulométrica 75-150 μm ou seja de 1,30 a 1,40 de 7 a 28 dias, de 1,20 a 1,25 de 28 a 90 dias e de 1,50 a 1,70 de 7 a 90 dias. Os mesmos coeficientes são mais elevados para as fracções de 45-75 μm e 0-45 μm sendo da ordem de 1,40 a 1,50 de 7 a 28 dias, de 1,27 a 1,30 de 28 a 90 dias e de 1,75 a 1,90 de 7 a 90 dias.

Constatou-se que as características que definem um material pozolânico, de acordo com a NP EN 450, são atingidas pelos resíduos de fracções granulométricas inferiores a 75 μm .

Verificou-se, para fracção granulométrica 75-150 μm , não haver diferença significativa nos índices de actividade pozolânica obtidos para os tipos de resíduos estudados, o que pode evidenciar a indiferença da composição quanto a definição da pozolanicidade obtida pelos resíduos estudados. Não obstante, pode-se afirmar que para os resíduos estudados o índice de actividade pozolânica aumenta com a superfície específica, embora este aumento seja resultante de um maior tempo de moagem. Pode-se considerar que do ponto de vista económico o índice de actividade pozolânica é obtido com partículas de 45-75 μm sem perda significativa da resistência à compressão.

Em termos de expansão deletéria, a argamassa com resíduos de vidro apresentou resultados bastantes inferiores aos considerados na norma ASTM C 1260-94.

A realização de ensaios de argamassas com resíduos permitiu verificar que é possível a fabricação de materiais pozolanicos a partir de resíduos de vidro e de cerâmica vermelha. Os resultados obtidos neste estudo testemunham a viabilidade da utilização desses como recurso alternativo aos materiais pozolânicos usados actualmente. No entanto, para se poder concluir, definitivamente, sobre a substituição parcial de cimento por estes resíduos em argamassas, deve-se avaliar as propriedades particulares à cada exigência de aplicação nas argamassas frescas e endurecidas.

6. REFERÊNCIAS

- [1]. Shao Y, Lefort T, Moras S, Rodriguez D. *Studies on concrete containing ground waste glass*, Cement and Concrete Research 30 (2000) 91–100.
- [2]. Karamberi A, Moutsatsou A. *Participation of coloured glass cullet in cementitious materials*, Cement & Concrete Composites 27: 319–327.
- [3]. Ay N, Ünal M. *The use of waste ceramic tile in cement production*, Cement and Concrete Research 30 (2000) 497-499.
- [4]. Comissão Europeia de Normalização. *Métodos de ensaio de cimentos - Parte 1: Determinação das resistências mecânicas* NP EN 196-1:1996.
- [5]. European Committee for Standardization. *Methods of test for mortar for masonry- Part 3: Determination of consistence of fresh mortar* EN 1015-3:1999.
- [6]. Comissão Europeia de Normalização. *Métodos de ensaio de cimentos - Parte 6: Determinação da finura* NP EN 196-6:1990.
- [7]. Comissão Europeia de Normalização. *Cinzas volantes para betão* NP EN 450:1995.

- [8]. ASTM. *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)* ASTM C 1260 – 94.