

## CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS À BASE DE GESSO FGD

Camões, A., Cardoso, C., Cunha, S., Vasconcelos, G., Medeiros, P., Eires, R., Jalali, S., Lourenço, P.

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho



### RESUMO

*Este estudo visa a valorização de diversos subprodutos industriais como o gesso da dessulfuração de gases de combustão das centrais termoelétricas, designado convencionalmente por gesso FGD (“flue gas desulfurization”), o re-granulado de cortiça resultante do fabrico de placas de aglomerado negro de cortiça e as fibras têxteis resultantes da reciclagem de pneus usados.*

*Os materiais compósitos resultantes das misturas destes subprodutos podem ser conformados por dois processos distintos, a moldagem e a prensagem, obtendo-se produtos com características distintas. Por moldagem obtêm-se um compósito leve e por prensagem obtêm-se um material mais denso, com maiores resistências mecânicas e melhor acabamento superficial. Estes compósitos poderão ter várias aplicações na construção, nomeadamente no fabrico de blocos para paredes interiores dos edifícios. Neste contexto, foi realizada uma campanha experimental de modo a determinar as características mecânicas dos referidos compósitos no sentido de validar a sua aplicabilidade na construção.*

### 1- INTRODUÇÃO

Sabendo que, nos nossos dias, apenas cerca de 10 % (em massa) de tudo o que é extraído do planeta pela indústria é que se torna num produto útil e o restante pode ser considerado resíduo, torna-se urgente uma gestão sustentável dos recursos naturais existentes que nos leve a um consumo também ele sustentável. Assim, a necessidade mundial de sustentabilidade exige que, cada vez mais, se recorra ao uso de produtos alternativos na construção, tal como os que incorporam na sua constituição resíduos industriais. Estes são convencionalmente referidos como “materiais verdes”.

Vários são os subprodutos gerados na indústria que podem ser recuperados ou valorizados para a geração de novos produtos, podendo, desta forma, minimizar

os prejuízos ambientais consequentes da sua deposição em aterro.

O gesso é um material largamente utilizado na construção devido às suas diversas aplicações. Este sector consome aproximadamente 95 % da produção total de gesso. Estima-se que cerca de 80 a 90 % do gesso seja aplicado em acabamentos interiores e em paredes divisórias de edifícios, sob a forma de argamassas de reboco e placas de gesso cartonado (wastebook 2007).

Atendendo ao seu comportamento térmico e acústico estes produtos com base em gesso contribuem para o conforto de milhões de pessoas e, tendo em conta a sua boa resistência ao fogo, contribuem ainda para a segurança nos edifícios.

O gesso FGD é um subproduto industrial sintético que provém da

dessulfuração de gases de combustão das centrais termoeléctricas. É quimicamente idêntico ao gesso convencional e o seu uso proporciona aplicações mais amigas do ambiente. Este material é usado em diversas áreas, como por exemplo: produtos para construção, agricultura, produção de cimento, tratamento de águas e fabrico de vidro (fgdproducts 2009).

A disponibilidade mundial de gesso FGD é substancial. Aproximadamente 18 milhões de toneladas de gesso FGD foram produzidas em 2008 nos EUA, sendo cerca de 60 % reutilizadas (acaa-usa 2009). Na União Europeia, de acordo com dados de 2007, relativos à Europa dos 15 (ecoba 2009) foram produzidas cerca de 11 milhões de toneladas de gesso FGD, das quais cerca de 89 % foram reutilizadas.

Estimativas indicam que a produção anual mundial actual de gesso FGD ascende a valores próximos de 225 milhões de toneladas e que em 2020 deverá rondar os 500 milhões de toneladas por ano (Malhotra 2008). Os países em desenvolvimento, designadamente a China (o maior produtor mundial de gesso FGD, ultrapassando os 100 milhões de toneladas por ano em 2004) e a Índia (cerca de 20 milhões de toneladas por ano), devem contribuir decisivamente para este acréscimo. Prevê-se que, na Índia, a capacidade produtiva de energia eléctrica proveniente de centrais termoeléctricas duplique até 2010, o que resultará num aumento da produção de gesso FGD, que deverá atingir cerca de 40 milhões de toneladas nessa data.

O gesso FGD é também um material de preço muito reduzido e bastante acessível tornando-se bastante atractivo em termos económicos.



Fig. 1 – Gesso FGD na central térmica

A cortiça (parte da planta *Quercus Suber L*) é um material cujas características são de considerável interesse para a indústria de construção. É vista como um material estratégico de grande potencial devido à sua reduzida densidade, elasticidade, compressibilidade, resistência à água, boa absorção de vibrações e boa eficiência no isolamento térmico e acústico. (Hernández-Olivares 1999, Gil 2005). A cortiça é, ainda, considerado um material ecológico, natural, inodoro, imputrescível e inalterável, mantendo a sua eficiência por um longo período de tempo.

Em todo o mundo a indústria corticeira consome aproximadamente 280.000 ton de cortiça por ano. Contudo, cerca de 20 a 30 % da matéria-prima utilizada no processo de transformação é rejeitada, principalmente o pó de cortiça e os granulados cuja dimensão não tem interesse para a indústria corticeira (Carvalho 1996).

Deste modo, existe um interesse económico e ecológico em encontrar aplicações alternativas para estes subprodutos da transformação da cortiça, principalmente em Portugal, uma vez que é o produtor líder a nível mundial.

Neste trabalho utilizou-se granulado de cortiça no intuito de aligeirar o peso do compósito à base de gesso e, ao mesmo tempo, proporcionar uma melhoria da eficiência térmica e acústica.

Na Europa, a produção de pneus atinge cerca de 250 milhões de unidades por ano (specialchem4polymers 2004) e, nos dias de hoje, existem empresas de reciclagem de pneus usados que separam os seus componentes para reaproveitamento. Estas, obtêm materiais separados, como partículas de borracha, fibras metálicas e fibras têxteis. Estas fibras têxteis têm já algumas aplicações como, por exemplo, em materiais de isolamento ou reforço em produtos de betão (wastebook 2007).

Neste trabalho, o uso de fibras têxteis provenientes de pneus usados teve como principal propósito conferir uma maior resistência do material compósito à base de gesso.

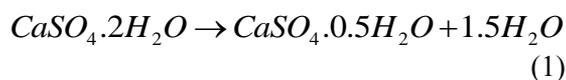
O principal objectivo deste estudo é o desenvolvimento de novas composições

à base de gesso FGD incorporando os restantes subprodutos referidos a fim de os valorizar e, simultaneamente, tornar os produtos com base em gesso mais leves e sustentáveis, dando seguimento a outros estudos, que visaram o desenvolvimento de produtos eco-eficientes com base em gesso aplicáveis na construção (Eires et al. 2008, Eires et al. 2007a, Eires et al. 2007b, Eires et al. 2006). Para tal, procedeu-se à caracterização dos materiais constituintes e à optimização das composições, recorrendo a vários testes em laboratório, de modo a avaliar o comportamento mecânico das referidas composições. Deste modo, foi possível confirmar a possibilidade da sua aplicação na construção.

## 2- MATERIAIS, COMPOSIÇÕES, FABRICO E CONSERVAÇÃO

### 2.1 - Materiais

O gesso FGD, formado no sistema de tratamento de efluentes gasosos numa central termoelétrica portuguesa, apresenta-se sob a forma de sulfato de cálcio bi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) com cerca de 7 % de humidade. Para que possa ser reactivo com água deve ser modificado para sulfato de cálcio hemi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ). Com base no resultado do ensaio de calorimetria diferencial de varrimento e análise termo-gravimétrica (DSC-TGA), foi seleccionada a temperatura de 105 °C para a desidratação, modificando o material conforme a Eq. (1):



Na Fig. 2 é possível observar o gesso FGD antes e após a operação de secagem/desidratação.



Fig. 2 – Gesso FGD antes e após a secagem

Na Tabela 1 pode-se observar a similaridade química do gesso FGD com um gesso convencional, disponível no mercado e correntemente designado como gesso estuque.

Tabela 1 – Composição química do gesso FGD e do gesso convencional

Componentes	Gesso FGD	Gesso convencional
CaO	40.1	41.3
SO <sub>3</sub>	54.4	56.0
F	1.61	x
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.28	0.22
SiO <sub>2</sub>	1.58	1.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.11	0.395
MgO	0.418	0.696
Na <sub>2</sub> O	0.261	x
K <sub>2</sub> O	X	0.0567
TiO <sub>2</sub>	0.0134	x
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.106	x
SrO	0.001	0.183
ZrO <sub>2</sub>	0.001	0.024

Determinou-se a distribuição granulométrica do gesso FGD e de um gesso convencional, e verificou-se que o primeiro tem uma maior finura, resultando numa pequena percentagem retida no peneiro 100 µm (cerca de 2 %) ao contrário do gesso convencional (54 % de material retido no peneiro 100 µm).

Procedeu-se, também, à determinação da resistência à compressão do gesso FGD e do gesso convencional, de acordo com o descrito na EN 13279-2. O gesso FGD apresentou uma resistência à compressão superior, atingindo 17.4 MPa, enquanto que o gesso convencional alcançou uma resistência de 9.2 MPa.

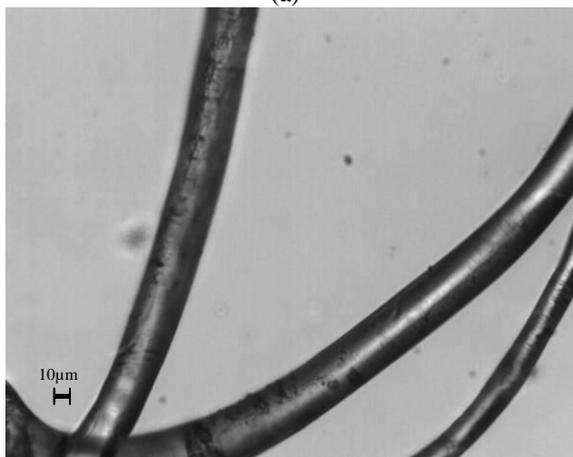
O granulado utilizado foi um regranulado de cortiça expandida, um subproduto de uma indústria de aglomerado negro de cortiça portuguesa, sendo o material constituído por partículas de diferentes tamanhos: 2/4 mm, 2/9 mm e 4/8 mm (Fig. 3). A massa volúmica real destes granulados é, respectivamente, igual a 166, 182 e 198 kg/m<sup>3</sup> e a densidade aparente é de 65.7 e 72.0 kg/m<sup>3</sup>.



Fig. 3 – Granulado de cortiça expandida



(a)



(b)

Fig. 4 – Fibras têxteis provenientes da reciclagem de pneus usados; (a) aspecto macroscópico; (b) aspecto microscópico.

As fibras têxteis de pneus utilizadas (Fig. 4) são provenientes de uma empresa portuguesa de reciclagem de pneus usados. Estas fibras são na generalidade compostas por fios e cordões poliméricos e alguns resíduos de borracha, sendo o principal

elemento constituinte das fibras a poliamida 6.

Foi realizada uma análise dimensional das fibras que consistiu na determinação do comprimento e do diâmetro, recorrendo a um microscópio óptico com registo fotográfico. Verificou-se uma grande dispersão no comprimento de fibras, sendo o valor mínimo encontrado de 108.2  $\mu\text{m}$  e o valor máximo de 12469.1  $\mu\text{m}$ . O valor médio foi de 2109.4  $\mu\text{m}$  com um desvio padrão de 1993.2  $\mu\text{m}$ . O diâmetro das fibras também é variável tendo sido o valor mínimo encontrado de 7.2  $\mu\text{m}$  e o valor máximo de 34.1  $\mu\text{m}$  com uma média de 20.7  $\mu\text{m}$ .

Nas composições foi também utilizado um retardador da presa do gesso: o ácido cítrico. A incorporação deste material foi obrigatória uma vez que se constatou que o gesso FGD reagia rapidamente com a água, solidificando a mistura, o que impedia a manutenção da trabalhabilidade em níveis considerados razoáveis durante um período de tempo necessário ao manuseamento do compósito no estado fresco.

## 2.2 - Composições, fabrico e conservação

Tendo em vista a selecção da composição final do material compósito a utilizar no fabrico de blocos para paredes interiores de edifícios, foi realizada uma campanha experimental com o objectivo de caracterizar, sob o ponto de vista mecânico, as composições produzidas.

Para tal foi estudada uma composição prensada (P), constituída apenas por gesso FGD, água e ácido cítrico, e três composições moldadas (M), com incorporação de cortiça, nas quais se fez variar a dosagem em 5, 7 e 9 % de granulado de cortiça relativamente à massa de gesso utilizada (M5, M7 e M9). As composições ensaiadas apresentam-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição das misturas (em % da massa de gesso)

	Tipologia	Água	Retard.	Cortiça	Fibras
M5	moldada	80.0	0.05	5.0	3.0
M7	moldada	87.5	0.05	7.0	3.0
M9	moldada	93.75	0.05	9.0	3.0
P	prensada	22.5	0.05	–	–

A dosagem de água das composições moldadas foi determinada experimentalmente de modo a conferir uma trabalhabilidade adequada, que consistiu em garantir um espalhamento compreendido entre 140 e 150 mm segundo a EN 13279-2.

A quantidade de água adicionada na mistura prensada resultou, também, de um procedimento experimental, realizado com o objectivo de fabricar a composição com a quantidade mínima de água necessária para a hidratação do gesso. Foram realizados vários ensaios de prensagem com diferentes percentagens de água na amassadura até se obter uma solução, considerada óptima, que garantisse um bom acabamento superficial, que se admitiu como garantia de uma boa compacidade.

A dosagem de retardador utilizada foi fixada após a realização de várias amassaduras, contendo diferentes dosagens de ácido cítrico. Os ensaios revelaram que os tempos de presa aumentam com o acréscimo de retardador, o mesmo se passando com o espalhamento. No entanto, verificou-se que as resistências mecânicas (compressão e flexão) diminuem com o aumento da dosagem de retardador. Assim, tendo em conta o descrito, foi adoptada uma dosagem de ácido cítrico de 0.05 % da massa de gesso, uma vez que garantiu a obtenção de pastas com tempos de presa e trabalhabilidade suficientes sem afectar significativamente as resistências mecânicas.

A dosagem de fibras têxteis de pneus foi seleccionada com base na disponibilidade do produto e no efeito das fibras nas resistências mecânicas. Ponderando os dois aspectos, foi adoptada a dosagem de 3 % da massa de gesso.

Quanto à composição prensada, optou-se por não incluir na mistura nem cortiça nem fibras têxteis, uma vez que a sua incorporação se revelou adversa, tanto do ponto de vista das resistências mecânicas como do aspecto superficial.

O processo de mistura e fabrico dos provetes foi efectuado de acordo com norma EN 13279-2.

Para avaliar o comportamento e as propriedades mecânicas (resistência à compressão, flexão e módulo de

elasticidade) das composições M5, M7 e M9, foram moldados 6 provetes cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura e 6 provetes prismáticos com  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ .

Os provetes da composição P, conformados por prensagem, resultaram da moldagem de placas com  $35 \times 300 \times 600 \text{ mm}^3$  que foram posteriormente submetidas a uma pressão de 5 MPa, diminuindo a sua espessura para cerca de 13 a 14 mm (Fig. 5). A partir destas placas, através de corte por via húmida, produziram-se 6 provetes com  $13 \times 14 \times 27 \text{ mm}^3$  e 6 com  $13 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ .



Fig. 5 – Placa prensada

Após o seu fabrico, todos os provetes foram conservados em laboratório à temperatura ambiente (cerca de 22 °C) durante 7 dias. Relativamente aos provetes resultantes da placa prensada, e uma vez que estes foram obtidos por corte por via húmida, imediatamente após o corte, foram colocados em estufa a uma temperatura de 100 °C durante cerca de 2 horas.

### 3- PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

#### 3.1 - Comportamento em compressão

O módulo de elasticidade em compressão do material moldado e prensado foi obtido com base na especificação do LNEC E 397.

Os provetes foram sujeitos a 4 ciclos de carga e descarga com velocidade constante de 0.06 kN/s. Os valores máximos e mínimos da carga aplicada foram determinados a partir de ensaios preliminares de compressão uniaxial de forma a garantir que a tensão aplicada fosse não superior a 30 % da tensão de rotura. É generalizadamente aceite que o comportamento elástico do material em compressão se desenvolve apenas para carga inferior a 30 % da carga de rotura (Choi e Shah, 1998; Vasconcelos, 2005). Atingida a carga máxima de 30 % da força média de rotura, os provetes foram mantidos sob a acção da carga durante 60 segundos, período após o qual se iniciou a

descarga. A lei de carregamento seguida nos ensaios de módulo de elasticidade encontra-se indicada na Fig. 6.

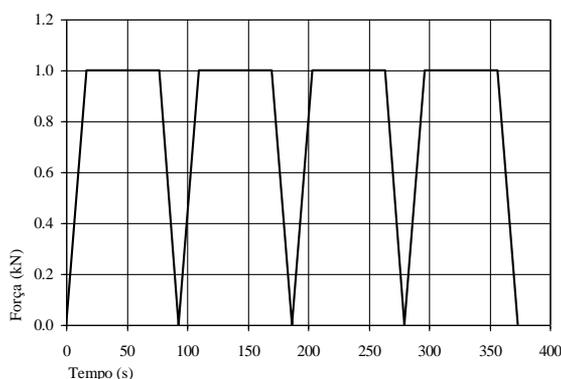


Fig. 6 – Lei de carregamento para os ensaios de módulo de elasticidade

A aplicação da carga no provete foi efectuada com recurso a uma placa de aço espessa de modo que fosse suficientemente rígida para uniformizar a carga vertical (Fig. 7).



Fig. 7 – Esquema de ensaio e instrumentação usada para os provetes moldados para obtenção do módulo de elasticidade

De forma a minimizar irregularidades das faces dos provetes, estes foram previamente rectificadas e, posteriormente, capeadas na base e no topo com uma resina de poliéster de cura rápida. O material de capeamento foi sempre colocado antes do início do ensaio, com o provete alinhado verticalmente e comprimindo-o ligeiramente de forma a garantir um ajuste perfeito entre os elementos de aplicação de carga e o provete. Nos provetes moldados, os deslocamentos verticais foram medidos através de 3 LVDTs fixados ao provete e colocados segundo três geratrizes equidistantes, distanciadas de 120°. Os

LVDTs utilizados têm um campo de medida de  $\pm 2.5$  mm e uma precisão de 0.01 %. A distância medida pelos LVDTs foi aproximadamente de 45 mm. Devido à reduzida altura dos provetes prensados, resultante das restrições de espessura das placas, os deslocamentos verticais foram registados recorrendo a um transdutor exterior, que media os deslocamentos entre as faces das chapas metálicas em contacto com o provete.

O comportamento em compressão das composições estudadas foi analisado com base em ensaios de compressão uniaxial realizados por intermédio de controlo de deslocamento vertical. A velocidade de carregamento utilizada foi de 5  $\mu\text{m/s}$ , garantindo que a força máxima fosse atingida para um intervalo de tempo compreendido entre 2 e 15 minutos. Simultaneamente, a velocidade adoptada teve como objectivo o registo do diagrama completo tensão-extensão e, assim, permitir caracterizar completamente o comportamento de cada um dos materiais após a tensão máxima. O registo dos deslocamentos verticais foi feito utilizando a mesma configuração de LVDTs utilizada para medição do módulo de elasticidade.

### 3.2 - Comportamento em flexão

Para os provetes de moldados, o comportamento em flexão foi avaliado com base na EN 13279-2 e na ASTM C1018. O esquema de aplicação de carga foi o de flexão em 4 pontos.. Os provetes utilizados para o ensaio de flexão foram prismáticos com dimensões de 40x40x160 mm<sup>3</sup> e 13x40x160 mm<sup>3</sup>, para provetes moldados e prensados respectivamente. Os ensaios foram realizados com controlo de deslocamento, por intermédio de um LVDT localizado a meio vão do provete. A velocidade de carga para os provetes moldados foi determinada de acordo com as recomendações da norma ASTM C1018, que indica que a rotura ocorra após um período de 45 s (10  $\mu\text{m/s}$ ). A velocidade de carga para os provetes prensados, devido à baixa espessura e elevada rigidez correspondeu à velocidade mínima que o equipamento de ensaio permitia para permitir a rotura num intervalo de tempo próximo do anterior (1  $\mu\text{m/s}$ ).

A carga vertical foi aplicada por intermédio de uma viga metálica rígida apoiada em dois roletes de aço que transmitiram pontualmente a carga ao provete. A disposição do transdutor e o carregamento estão representados na Fig. 8 e na Fig. 9.



Fig. 8 – Comportamento em flexão de provetes moldados



Fig. 9 – Comportamento em flexão de provetes prensados

#### 4- APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Na Tabela 3 apresentam-se os valores médios das massas volúmicas,  $\gamma_m$ , e das propriedades mecânicas, nomeadamente o módulo de elasticidade,  $E_m$ , resistência à compressão,  $f_m$ , e resistência à flexão,  $f_{m,fl}$ . Os coeficientes de variação apresentam-se entre parêntesis e estão em percentagem.

Na Fig. 10 é possível observar a resposta em compressão das diferentes composições, expressa pela correspondente curva média

tensão vs. extensão. Na Fig. 11 apresentam-se as mesmas curvas médias, mas correspondentes, apenas, às composições moldadas.

Tabela 3 – Resultados experimentais

	M5	M7	M9	P
$\gamma_m$ (kg/m <sup>3</sup> )	825	760	675	1575
$E_m$ (MPa)	1899.6 [4.7]	1311.8 [12.1]	823.3 [1.5]	2196.9 [17.1]
$f_m$ (MPa)	3.1 [2.7]	2.0 [13.4]	1.1 [5.8]	13.3 [18.2]
$f_{m,fl}$ (MPa)	0.58 [5.4]	0.68 [4.9]	0.55 [6.3]	1.47 [10.0]

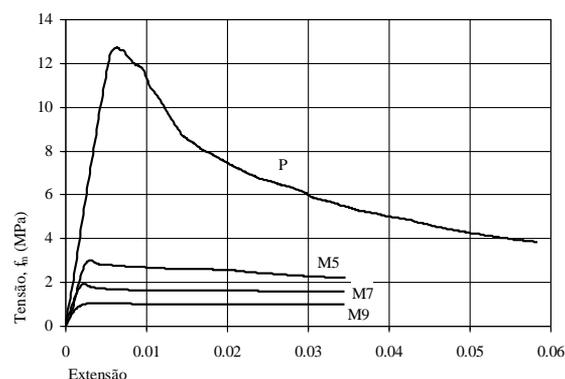


Fig. 10 – Comportamento em compressão: curva tensão vs. extensão

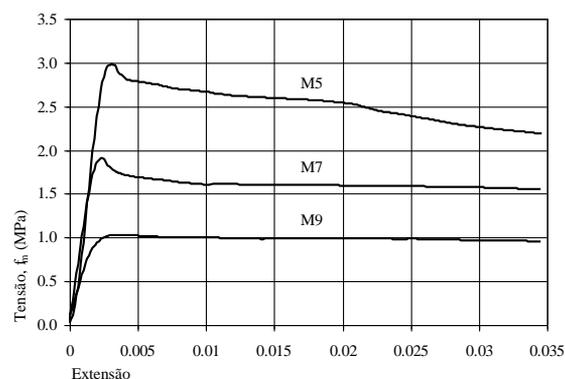


Fig. 11 – Comportamento em compressão das composições moldadas: curva tensão vs. extensão

Na Fig. 12 apresentam-se os diagramas médios tensão vs. deslocamento a meio vão obtidos nos ensaios de flexão para as composições estudadas. As tensões de flexão apresentadas correspondem a valores instalados na secção transversal considerando que a distribuição de tensões ao longo da secção é elástica e linear. Note-se que o procedimento para o cálculo da tensão é apenas aproximado dado que no regime de pré-pico, e particularmente no regime de pós-pico, o comportamento é claramente não linear.

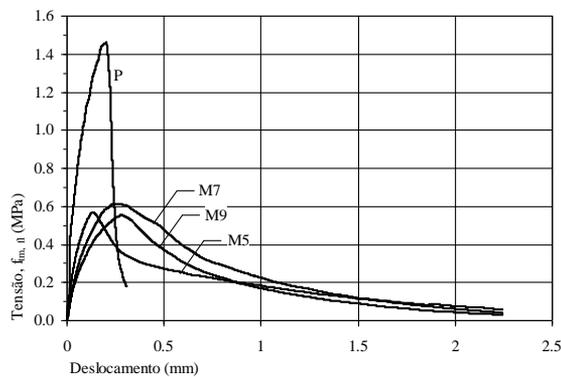


Fig. 12 – Comportamento em flexão: curva tensão vs. flecha a meio vão

O comportamento global em compressão e em flexão do material prensado e moldado é substancialmente diferente. O material prensado é consideravelmente mais resistente, mas mais frágil do que o material moldado. O ramo de pós-pico nos diagramas tensão-extensão do material prensado traduz uma redução mais acentuada da tensão para a mesma deformação do que a verificada no material moldado. Em compressão, o comportamento do material moldado após o pico caracteriza-se pela redução muito ligeira de resistência para deslocamentos muito consideráveis, traduzindo-se, assim, num material muito mais dúctil. Verifica-se um acréscimo de resistência e redução de ductilidade do material moldado com a diminuição da percentagem de cortiça, apesar de não se registar uma diferença significativa na resistência à tracção. Por outro lado, verifica-se que o material prensado se revela mais frágil, com uma perda de resistência muito mais rápida (sem acréscimo de deformação) após atingir a resistência máxima. Em termos de modo de rotura verifica-se que no material moldado a rotura evolui a partir da base ou do topo, onde um nível do provete é esmagado e depois evolui gradualmente com o esmagamento dos níveis sucessivos. O facto do início da rotura se localizar na base ou topo está relacionado com o efeito de fronteira nestas zonas. No material prensado a rotura ocorre com o desenvolvimento de fendas verticais que se propagam desde uma face à outra do provete. A análise dos diagramas tensão-deslocamento para as misturas moldadas permite concluir que não

verificam diferenças importantes no comportamento global à flexão.

Nas Figs. 13 e 14 é possível observar a influência da dosagem de cortiça no módulo de elasticidade do composto e na resistência à compressão, respectivamente.

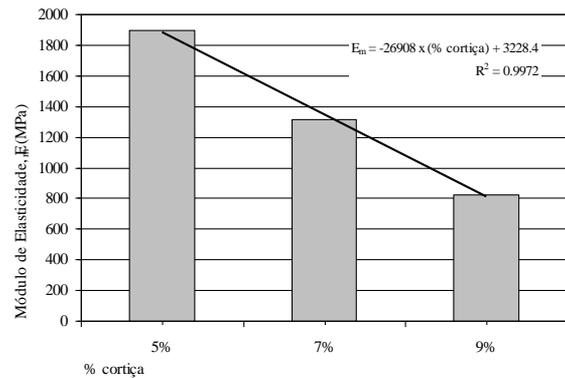


Fig. 13 – Influência da percentagem de cortiça no módulo de elasticidade

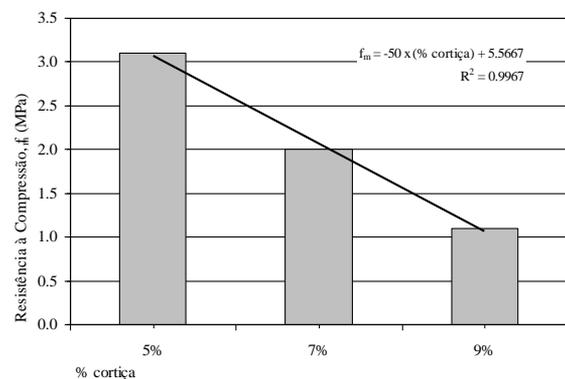


Fig. 14 – Influência da percentagem de cortiça na resistência à compressão

Em termos gerais, com base nos resultados obtidos, apresentados na Tabela 3 e nas Figs. 10 a 14, é possível constatar que:

- as características mecânicas da composição prensada são, conforme previsto, substancialmente superiores às das composições moldadas;
- a resistência à compressão da composição prensada é cerca de quatro vezes superior à da composição moldada mais resistente;
- a resistência à flexão da composição prensada é, também, superior à verificada nas composições moldadas. No entanto, a diferença não foi tão acentuada, atingindo

cerca de o dobro da resistência da composição moldada mais resistente;

- o módulo de elasticidade da composição prensada é superior ao das composições moldadas. No entanto, a diferença para a composição moldada com maior módulo de elasticidade foi apenas de cerca de 15 %;
- nas composições moldadas, o decréscimo do módulo de elasticidade com o aumento da quantidade de cortiça foi aproximadamente linear. A um aumento de 1 % de cortiça correspondeu um decréscimo de módulo de elasticidade superior a 30 %;
- nas composições moldadas, o decréscimo da resistência à compressão com o aumento da quantidade de cortiça foi, também, aproximadamente linear. A um aumento de 1 % de cortiça correspondeu um decréscimo de resistência à compressão superior a 35 %;
- os resultados dos ensaios de flexão não se revelaram sensíveis à variação da quantidade de cortiça das composições;
- a capacidade de absorção de energia das composições moldadas, quer em compressão quer em flexão, foi bastante superior à da composição prensada, demonstrando uma ductilidade bastante superior.

## 5- CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode concluir-se que a utilização de uma mistura que incorpore gesso FGD, granulado de cortiça e fibras têxteis, é viável para várias aplicações no âmbito da indústria da construção, desde que encarada como material constituinte de um produto com funções não estruturais. Neste contexto, a premissa inicial de aplicabilidade deste tipo de material em blocos de alvenaria não resistente parece praticável e pode ser uma forma bastante interessante de valorizar vários subprodutos industriais.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados permitiram verificar que existe uma diminuição clara da resistência à compressão e flexão com a incorporação

de cortiça relativamente à mistura de gesso prensado. Além disso, verifica-se que existe uma relação linear entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão com a percentagem de cortiça nas misturas moldadas, significando que quanto maior a percentagem de cortiça, menor é o módulo de elasticidade e a resistência à compressão verificada.

O desempenho mecânico do material à base de gesso FGD pode ser substancialmente melhorado caso se prescindia da incorporação de cortiça e de fibras de pneus e se recorra à conformação por prensagem. No entanto, esta solução é substancialmente mais pesada, o seu processo de fabrico é, também, mais dispendioso e as potencialidades, em termos de forma, são muito mais limitadas. Contudo, a utilização conjunta das duas soluções (moldado e prensado), pode resultar num produto interessante até porque a solução prensada apresenta uma menor porosidade e, conseqüentemente, uma permeabilidade inferior.

## 6- AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar os seus agradecimentos à Agência de Inovação pelo financiamento deste trabalho de investigação desenvolvido no âmbito do projecto SI&DT, Projectos em Copromoção, SipedECO-Desenvolvimento de soluções eco-eficientes para paredes divisórias bem como às empresas Sofalca - Sociedade Central de Produtos de Cortiça, Lda, Pegop - Energia Eléctrica, S.A., e Biosafe - Indústria de Reciclagens, S.A.

## 7- REFERÊNCIAS

- ASTM Standard, ASTM C1018-97, Standard Test for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber Reinforced Concrete (Using Beam with Third Point Loading)
- Carvalho, A.P.O. 1996. Cork as a lightweight partition material. Economical and acoustical analyses, Proceedings of the CIB W89 Beijing International Conference – Beijing, China.
- Eires, R., Nunes, J. P., Fangueiro, R., Jalali, S., Camões, A. 2006. New eco-friendly hybrid composite materials for civil construction,

## Caracterização de Materiais Compósitos à Base de Gesso FGD

- ECCM 12, 12th European Conference on Composite Materials, Biarritz, France, 7 pp. (in CD Rom).
- Eires, R., Camões, A., Jalali, S., 2007a. Eco-friendly construction materials using gypsum and industrial wastes, Proceedings of Portugal SB07, Sustainable Construction, Materials and Practices, Challenge of the Industry for the New Millennium, p. 942-949.
- Eires, R., Camões, A., Jalali, S., 2007b. New eco-friendly gypsum materials for civil construction, *Materiais 2007*, XIII Conference of Sociedade Portuguesa de Materiais / IV International Materials Symposium – A Materials Science Forum, 166 pp.
- Eires, R., Camões, A., Jalali, S. 2008. New eco-friendly gypsum materials for civil construction, *Materials Science Forum*, Trans Tech Publications, Switzerland, Vols. 587-588, p. 908-912.
- European Committee for Standardization (CEN) 2004. EN 13279-2: Gypsum binders and gypsum plasters – Part 2: Test methods, Bruxelas.
- Choi, S., Shah, S.P. 1998. Fracture mechanism in cement-based materials subjected to compression, *Journal of Engineering Mechanics*, 124, 1, 94-102.
- Gil, L. 2005. *Cortiça: da Produção à Aplicação*, Ed. Câmara Municipal do Seixal – Ecomuseu Municipal do Seixal.
- Hernández-Olivares, F., M.R. Bollati, M. del Rio, B. Parga-Landa 1999. Development of cork/gypsum composites for building applications, Ed. *Construction and Building Materials* 13\_179-186. [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com).
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), E 397, Determinação do módulo de elasticidade em compressão, Lisboa, Portugal.
- Malhotra, V.M. 2008. Role of Fly Ash in Reducing Greenhouse Gas Emissions During the Manufacturing of Portland Cement Clinker, *Advances in Concrete Technologies in the Middle East*, 19-20 November, Dubai.
- Vasconcelos, G. 2005. Experimental investigations on the mechanics of stone masonry: characterization of granites and behaviour of ancient masonry shear walls. Ph.D. thesis. Universidade do Minho, 266p.
- [www.aaaa-usa.org](http://www.aaaa-usa.org) 2009, American Coal Ash Association.
- [www.ecoba.org](http://www.ecoba.org) 2009. European Coal Combustion Products Association.
- [www.specialchem4polymers.com](http://www.specialchem4polymers.com) 2004. Tyre recycling.
- [www.wastebook.org](http://www.wastebook.org) 2007. Rubber and tyres.
- [www.fgdproducts.org/FGDGypsumIntro.htm](http://www.fgdproducts.org/FGDGypsumIntro.htm) 2009.