

Special Issue on Raw Materials and Recycling

## Reciclagem de agregados das minas da Panasqueira como revestimento refratário da fundição de metais

### *Recycling of aggregates of Panasqueira mines as refractory lining of metal casting*

J. Montoya Herrera<sup>a</sup>, J.A. Durán Suarez<sup>a</sup>, Abílio P. Silva<sup>b,\*</sup>, R. Peralbo Cano<sup>a</sup>, J.P. Castro-Gomes<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Escultura, Faculdade de Belas Artes, Universidade de Granada, Edif. Aynadamar, Av. Andalucía s/n, 18071 Granada, Espanha

<sup>b</sup>CAST, Centre for Aerospace Science and Technologies, Universidade da Beira Interior, 6201-001 Covilhã, Portugal

<sup>c</sup>C-MADE, Centre of Materials and Building Technologies, Universidade da Beira Interior, 6201-001 Covilhã, Portugal

#### Resumo

Nas minas da Panasqueira (Covilhã, Portugal) acumulam-se montes de resíduos (agregados) provenientes da extração de tungsténio sem qualquer aplicação. Este trabalho pretende contribuir para implementar um novo uso para estes resíduos integrando-os como revestimento refratário no processo de moldação a verde da fundição de metais não ferrosos. Os resultados mostram o potencial do uso destes resíduos da fundição de metais não ferrosos.

© 2013 Sociedade Portuguesa de Materiais (SPM). Publicado por Elsevier España, S.L. Todos os direitos reservados.

*Palavras chave:* reutilização; resíduos de agregados; fundição; moldação a verde.

#### Abstract

Over the years, in the Panasqueira mines (Covilhã, Portugal) were accumulated mountains of stones (wastes) as a result of the tungsten extraction without any application. This research aims to assist in the implementation of these wastes, using it as refractory lining in foundry (green moulding process), particular in foundry of non-ferrous metals. Experimental methodology consisted in mineralogical characterization (XRF and XRD), as well as the evaluation of the permeability to water vapour, fundamental aspect to be considered in the materials which constitute the moulds with refractory properties for metal casting. Two compositions have been considered and subsequently assessed by scanning electron microscopy (SEM), his behaviour as non-ferrous cast metal container, studying both the contact area and the contiguous zone of thermal diffusion. The results show that wastes can be used as a main component in the manufacture of refractory mould for casting non-ferrous metals moulded in green.

© 2013 Sociedade Portuguesa de Materiais (SPM). Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

*Keywords:* reuse; stone waste material; cast iron; green moulding.

### 1. Introdução

A legislação ambiental dos países europeus obriga a uma resposta real ao problema da gestão de resíduos provenientes do sector extrativo, mineiro, pedra

natural e ornamental. O enorme volume de material, caracterizado como resíduo estéril (cascalho de dimensões diversas, agregados e lamas) e o seu consequente prejuízo ambiental, impacto paisagístico e visual, podem ser um recurso aproveitável tanto do ponto de vista económico como tecnológico [1]. Nas minas de volfrâmio da Panasqueira (figura 1), na região da Beira Baixa (Covilhã, Portugal), atualmente acumulam-se gigantescas quantidades de escombros sem uso determinado (figura 2).

\* Corresponding author.

E-mail address: [abilio@ubi.pt](mailto:abilio@ubi.pt) (Abílio P. Silva)



Fig. 1. Localização geográfica da mina da Panasqueira.



Fig. 2. Montanhas de resíduos pétreos a céu aberto.

Estes agregados resultam do processo de extração do minério de volfrâmio das minas da Panasqueira, de onde se extrai minerais como a volframite  $[(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4]$  e subprodutos como a cassiterite  $[\text{SnO}_2]$  e a calcopirite  $[\text{CuFeS}_2]$  e em menor quantidade arsenopirite, pirite, marcassite, esfalerite (marmotite), siderite, dolomite, calcite, apatite, moscovite, turmalina e clorite [2].

Através da moagem dos agregados grossos obtém-se um pó fino que pode ter uma utilidade alternativa como areia de fundição.

### 1.1. Estudos Prévios

A caracterização do reciclado de agregado fino, obtido da trituração das rochas metasedimentares (xistos e

grauvaques) e sua avaliação como revestimento refratário num sistema de fundição de metais não ferrosos, teve como base a experiência de trabalhos anteriores. Nestes desenvolveram-se misturas de agregados das minas da Panasqueira com resinas de poliéster para obter argamassas e betões poliméricos para aplicações técnico-artísticas [3]. Esta etapa prévia permitiu otimizar diferentes distribuições granulométricas em função das propriedades viscoelásticas, textura e cor, observando-se o potencial para o desenvolvimento de novas misturas de partículas usando-se um agregado fino em fundição técnico-artística denominadas de moldagem a verde e moldagem química [4].

### 1.2. Moldação a Verde

O método de fundição usando um modelo gasificável tem o seu ponto de partida em 1958 com a patente US 2830343 de H. F. Shroyer que propõe o uso de poliestireno como modelo, o qual, mediante a adição e reação de um agente espumante é capaz de adquirir uma densidade quarenta vezes menor que o composto polimérico na sua forma compacta. Nesta técnica aplica-se o procedimento tradicional inserindo o modelo em areia, sem necessidade da sua eliminação prévia pois este desaparecerá em contacto com o metal fundido.

A metodologia consiste na obtenção de um molde refratário, rígido, capaz de suportar a temperatura e a pressão da adição do metal fundido. Este tipo de fundição combina a utilização do poliestireno expandido como modelo perdido e a moldação refratária a verde em que usualmente apenas se aplicam areias especiais provenientes da moagem de arenito calcário bioclástico ou similar.

## 2. Parte Experimental

### 2.1. Caixa de Moldação

A construção da caixa de moldação inicia-se com a colocação do modelo em poliestireno expandido numa superfície plana (metal ou madeira isenta de poros), delimitada por um bastidor, aberto dos dois lados, com a função de formar um corpo de uma das metades da caixa de moldação (figura 3A). A areia refratária húmida peneirada é vertida sobre o modelo de modo a que se ajuste e compacte posteriormente mediante pressão. A areia compactada na caixa de

moldação envolve perfeitamente todo o modelo de poliestireno e apresenta a resistência mecânica suficiente para ser voltado sem risco de desprendimento (figura 3B e 3C). Assim obtém-se metade da caixa de moldação (figura 3D).

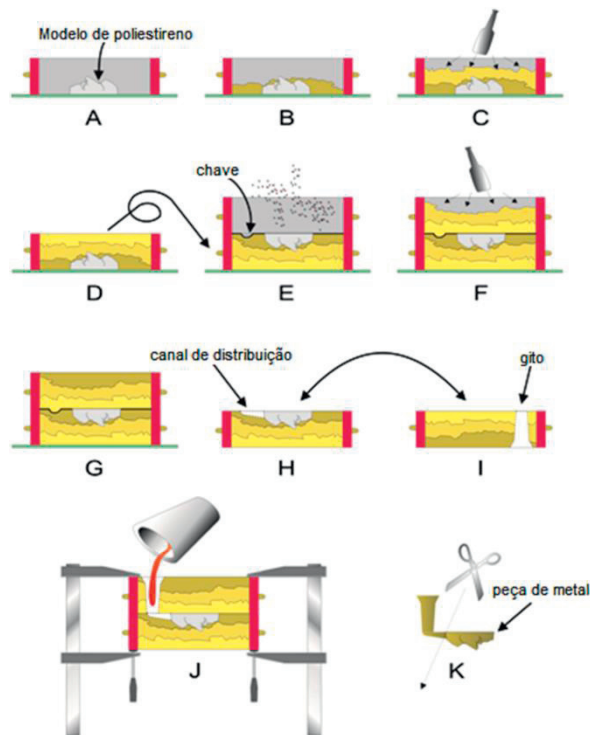


Fig. 3. Esquema dos processos de fundição a verde com modelo de poliestireno perdido.

Ao inserir uma segunda metade da caixa de moldação com face coincidente para a inicial deve aplicar-se uma fina película de pó de grafite para evitar que não há aderência entre as duas superfícies em contacto facilitando a sua posterior separação. Executa-se uma depressão sobre a metade realizada, próxima do modelo de poliestireno (em jargão escultórico denomina-se de chave) que servirá para localizar o ponto onde se irá construir o gito de acesso do metal líquido (figura 3E). Se seguida enche-se o caixa com areia refratária, compacta-se e se obtém a segunda metade da caixa de moldação (figuras 3F e 3G). Constrói-se nas faces de trabalho o canal de entrada e de distribuição do metal fundido graças à escassa dureza do revestimento superficial (figuras 3H e 3I). Depois de limpos todos os canais unem-se as metades, fechando-se a caixa de moldação reforçando a estrutura, passando-se ao seu enchimento vertendo o metal líquido (figura 3J). Depois de arrefecido extrai-se do interior da caixa a peça original (figura 3K).

## 2.2. Materiais e Métodos Experimentais

Os materiais usados no fabrico do revestimento refratário (areia) da caixa de moldação foram resíduos de rochas (agregados), resultantes do processo de extração mineira disponíveis numa grande quantidade de agregados xistosos estéreis, figura 4, constituídos fundamentalmente por quartzo e grauvaques formados no período pré-câmbrico, contendo também vestígios de metais pesados (Cu, Zn, Mn, As e S) nos resíduos finos (lamas) [5], que não se usaram no revestimento refratário.

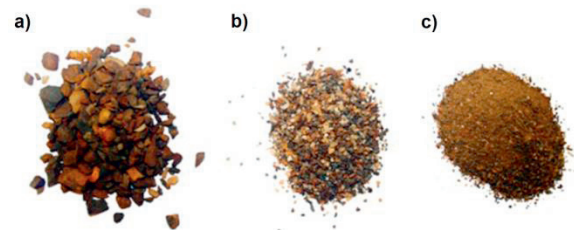


Fig. 4. Diferentes distribuições granulométricas de agregado: a) tamanho maior que 2 mm; b) tamanho entre 2 mm e 0,6 mm; c) tamanho menor que 0,6 mm.

Com estes agregados ricos em quartzo construíram-se corpos de prova, com carácter preliminar, para determinar a viabilidade como material refratário, do ponto de vista da sua aplicação, comprovando a sua utilidade como areia de fundição técnico-escultórica. Depois de moagem em moinho de disco vibratório, Herzog, usado na trituração ultrafina, realizaram-se três análises do pó (areia fina) mediante fluorescência de raios-x (XRF) para obter a sua composição química elementar, utilizando um espectrómetro sequencial dispersivo de comprimentos de onda de 4 KW (gerador de raios-x), Philips Magix Pro (PW-2440).

A preparação das amostras para análise XRF realizaram-se fundindo-as com tetraborato de lítio para obter uma pérola sólida. A composição mineralógica, obteve-se mediante difração de raios-X (XRD) num difractómetro de pó Bruker D8 Advance (software X Powder, base de dados PDF2.DAT), pertencentes ao Centro de Instrumentação Científica da Universidade de Granada (CIC).

O tamanho do árido para a areia de conformação dos moldes refratários foi seleccionado por uma malha de 0,6 mm de modo a obter uma areia fina e eliminar os agregados de maior tamanho possibilitando uma

melhor qualidade no acabamento dos modelos de fundição. O material utilizado foi calibrado granulometricamente num agitador de peneiros Retsch AS 200 Digit, utilizando uma bateria de 5 peneiros com as dimensões: 0,5 mm, 0,425 mm, 0,3 mm, 0,2 mm e 0,1 mm.

A utilização deste agregado fino como revestimento refratário parece adequada pois existem antecedentes experimentais na criação de pastas cerâmicas, submetidas a diferentes temperaturas até alcançar os 1250°C [6], confirmando a refratividade do material e permitindo supor um bom comportamento ao choque térmico derivado do contacto com o metal fundido.

Para a fundição com moldação a verde prepararam-se dois modelos de poliestireno expandido e duas caixas de moldação em aglomerado de madeira com volume interno de aproximadamente 1200 cm<sup>3</sup>. O revestimento refratário para posterior fundição de bronze preparou-se misturando o pó (agregado fino moído da Panasqueira, “PAN”) com pasta cerâmica refratária branca comercial (SiO<sub>2</sub>), em duas proporções: 75% PAN e 25% SiO<sub>2</sub>; 85% PAN e 15% de SiO<sub>2</sub>. O teor de água misturada na areia (areia húmida) foi de aproximadamente 13%, estando enriquecida com 7% de adesivo celuloso (carboximetilcelulose) para melhorar a compactação do molde refratário.

É essencial controlar a porosidade nestes tipos de revestimento para fundição técnica pois o sucesso das peças metálicas pretendidas depende da capacidade de transferência dos gases do interior do molde até ao exterior, isto é dos canais de exaustão e da microporosidade do próprio refratário. Assim, pretende-se um revestimento permeável aos gases gerados no interior e impermeável ao metal líquido fundido.

O tipo de amostras do revestimento refratário não permite a avaliação da porosidade, através do método de Arquimedes, imersão em água até à saturação [7] ou utilizando a porosimetria por intrusão de mercúrio para a determinação do volume e distribuição de vazios (poros). O carácter frágil (quebradiço) das amostras implica que em meio aquoso se desagregariam e não suportariam a pressão de intrusão do mercúrio. Assim sendo, usou-se o SEM para obter uma informação morfológica do tipo de poro e da sua distribuição.

Uma boa aproximação à capacidade de transferência de gases do revestimento refratário é através da análise à permeabilidade ao vapor de água. Seguindo a recomendação “Normal (21/85)” sobre o ensaio de permeabilidade [8], através de três amostras para as percentagens de 15% e 25% com dimensões 20 x 20 x 10 mm<sup>3</sup>. As massas foram determinadas numa balança analítica com precisão de 0,1 mg e inseridas na célula

porta amostras impermeável (PVC) onde é introduzido um volume aproximado de 20 ml de água desionizada. O vapor de água é forçado, pela diferença de pressões entre o interior e o exterior da célula, a atravessar a amostra de revestimento refratário. O sistema de medição controla as diferenças de massa em função do tempo (24, 48 e 72 horas), mantendo constante o valor da humidade relativa através da sua inserção numa câmara excicadora contendo uma solução de sílica-gel, mantido dentro de uma estufa garantindo a temperatura (20°C) e a pressão (17,535 mmHg) exteriores constantes.

A permeabilidade ao vapor de água das amostras do revestimento refratário é determinada pela equação 1. Onde a permeabilidade (P) é determinada pela razão entre a diferença de massas ( $\Delta M$ ) durante um intervalo de tempo (24 horas) pela superfície da amostra (S).

$$P = \frac{\Delta M}{S} \quad (1)$$

Após os ensaios de fundição observaram-se através de SEM as regiões de interface entre o revestimento refratário e o metal fundido (bronze) a fim de analisar o comportamento do árido na área afetada termicamente.

### 3. Resultados e discussão

Da análise química por fluorescência de raios-x (tabela 1) verifica-se que o árido moído usado como revestimento refratário (PAN) na caixa de moldação reúne as condições para um ótimo desempenho refratário. Pois verifica-se a presença de um elevado teor de óxido de silício (SiO<sub>2</sub>, 72%) e de óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 13%). Os óxidos supra referidos apresentam elevada temperatura de fusão (ponto eutético comum a 1594°C). No entanto, existem percentagens consideráveis de elementos fundíveis a temperaturas mais baixas como o óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5,6%) e o óxido de magnésio (MgO, 1,5%). Estes elementos conjuntamente com o óxido de silício podem formar combinações eutéticas próximo dos 1200°C que podem atuar como indutores da fusão de todos os componentes.

Na análise encontram-se também pequenas quantidades de fundentes como o óxido de cálcio, manganés, potássio e sódio.

Tabela 1. Análise química do agregado fino da Panasqueira (PAN) e da pasta comercial refratária branca, SiO<sub>2</sub> (dados do fabricante) por fluorescência de raios-x.

	PAN	Pasta refratária branca
SiO <sub>2</sub> (%)	72,05	63,92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	13,08	26,48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5,64	1,06
MnO (%)	0,04	<0,01
MgO (%)	1,54	0,18
CaO (%)	0,46	0,14
Na <sub>2</sub> O (%)	0,38	0,24
K <sub>2</sub> O (%)	3,01	1,6
TiO <sub>2</sub> (%)	0,62	1,52
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,29	-
Zr (ppm)	155,67	-
LOI (%)	2,18	4,26

Da análise mineralógica por difração de raios-x (tabela 2) observa-se a presença de quartzo (~44%), com a composição SiO<sub>2</sub>, e de moscovite (~34,5%) com composição [KAl<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>]. Estes minerais potenciam a refratariedade da areia (agregado fino PAN), embora a análise revele, se bem que em menor quantidade, minerais como o clinocloro, pertencente ao grupo das cloritas (filosilicatos de magnésio, alumínio e ferro) de composição [(Mg, Fe<sub>2+</sub>)<sub>5</sub>Al((OH)<sub>8</sub>/AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)], a albite, um aluminosilicato da família dos feldspatos plagioclásios [NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>], a paragonite do grupo das micas - filosilicatos [NaAl<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>] e a portlandite, um hidróxido de cálcio [Ca(OH)<sub>2</sub>].

Tabela 2. Análise mineralógica de duas amostras do agregado fino da Panasqueira (PAN 1 e PAN 2) por difração de raios-x.

	PAN 1	PAN 2	Média	DP
Quartzo (%)	43,0	45,0	44,0	1,41
Moscovite (%)	33,9	35,1	34,5	0,85
Clinocloro (%)	8,6	7,8	8,2	0,57
Albite (%)	6,2	6,3	6,25	0,07
Paragonite (%)	6,0	4,8	5,4	0,85
Portlandite (%)	1,3	-	-	-
Amorfos (%)	1,0	0,9	0,95	0,07

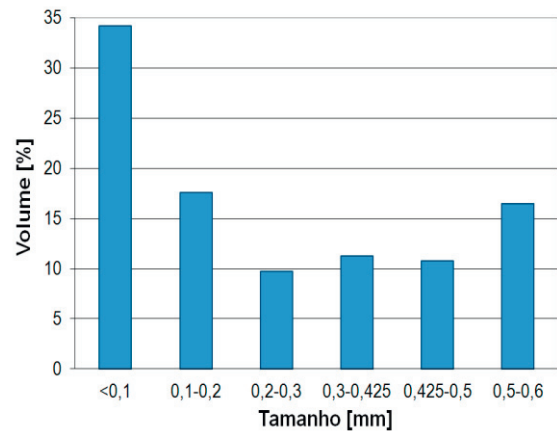


Fig. 5. Análise granulométrica do agregado fino da Panasqueira moído.

Estes resultados da composição química são completos e reforçam as propriedades de elevada refratariedade do agregado fino obtido por moagem dos agregados da mina da Panasqueira potenciando o seu bom resultado no desempenho da função de areia de fundição e revestimento refratário, no entanto não são suficientes para uma conclusão inequívoca.

Da análise da distribuição granulométrica de tamanhos (figura 5) da areia de fundição (agregado PAN) observa-se a presença de mais de um terço (34,2%) de partículas finas (diâmetro inferior a 0,1 mm, “<0,1”).

Os tamanhos restantes (~66%) estão compreendidos nos intervalos: entre 0,1 e 0,2 mm (17,5%), entre 0,2 e 0,3 mm (9,7%), entre 0,3 e 0,425 mm (11,2%), entre 0,425 e 0,5 mm (10,8%) e superior a 0,5 mm (16,6%). Estes dados permitem inferir que o agregado fino usado como areia de moldação pode gerar negativos de grande qualidade conformando-se adequadamente ao modelo. No entanto, devido ao excesso de pó fino será necessário a adição de um maior teor de água de compactação e a sua mistura deve ser bem homogeneizada para evitar a presença de heterogeneidades no revestimento do molde refratário. Os ensaios de fundição, figura 6, mostraram um bom desempenho estrutural. Não se produziram ruturas (fissuras) na areia de moldação (agregado PAN) da caixa de moldação durante o processo de fundição, em especial com a alimentação do bronze líquido.



Fig. 6. Caixas de moldação, com areia de agregado fino da Panasqueira antes e após a fundição de bronze.

Depois da abertura da caixa de moldação, figura 7, observaram-se vários efeitos: - a peça metálica obtida é bastante aceitável, verificando-se uma boa qualidade de cópia, figura 8; - existem defeitos na textura como entalhes, bolhas, ligeiras saliências e arestas imperfeitas em zonas de confluência de metal fundido. Estas imperfeições podem seguramente dever-se à excessiva humidade do revestimento refratário potenciada pela presença do adesivo celuloso.

Durante o processo em que se verte o metal líquido para o interior da caixa de moldação constatou-se uma maior turbulência (maior número de bolhas) para a mistura de 25% de agregado fino PAN do que para a mistura de 15%. Pode inferir-se que a maior retenção de água numa mistura mais rica em agregado fino provoca um efeito mais negativo na iteração metal fundido e água [9].

De forma paralela a menor permeabilidade ao vapor de água da mistura com menor quantidade de agregado impediu a dissipação da humidade através da estrutura porosa, tabela 3. Este efeito fica evidenciado na representação gráfica dos valores da difusão do vapor de água durante as 72 horas do ensaio nos dois revestimentos refratários (figura 9).



Fig. 7. Abertura do molde refratário e obtenção das peças de bronze.



Fig. 8. Peças de bronze depois de retiradas da caixa de moldação.

Globalmente a permeabilidade ao vapor de água nas misturas de árido da Panasqueira com proporções de 85% PAN e 75% PAN como revestimento refratário é excelente, comparando-se a materiais de elevada porosidade, tais como certas rochas areníticas (~20%), com valores de permeabilidade de 250 g/m<sup>2</sup> [10].

Os revestimentos refratários permitem uma excelente difusão da água contida na mistura (utilizada para compactação). Quando a água líquida se transforma em vapor de água pela ação da temperatura do metal fundido, origina um aumento da pressão na superfície entre o metal e o revestimento no interior do molde, que assim é dissipado facilmente através da porosidade do revestimento refratário, evitando a sua fissuração e rutura.

Tabela 3. Permeabilidade ao vapor de água dos revestimentos refratários.

Permeabilidade das amostras [g/m <sup>2</sup> ]	Agregado PAN			
	85%		75%	
	Média	DP	Média	DP
A	377	1,1	323	1,1
B	382	0,6	328	0,9
C	379	0,9	325	0,8

Os ensaios iniciais com moldes reais das misturas de agregado fino da Panasqueira são perfeitamente válidos e altamente positivos, embora o processo de aglutinação possa ser melhorado em especial tendo em conta a redução de água adicionada.

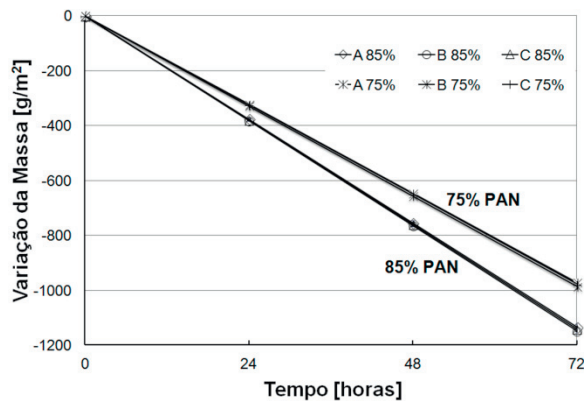


Fig. 9. Evolução da difusão do vapor de água.

Destaca-se a presença de restos de combustão com zonas excessivamente enegrecidas no interface metal-revestimento, figura 10, motivadas por um excesso de aditivo celuloso e pela combustão incompleta do modelo perdido de poliestireno. A progressiva pigmentação amarelo-avermelhada desde o interior do molde até ao exterior é derivada da composição química da rocha de partida (presença de ferro no agregado da Panasqueira).

As análises de microscopia eletrónica de varrimento (SEM) foram fundamentais para confirmar a ótima viabilidade deste agregado em processos de fundição, confirmando a sua adequada porosidade.

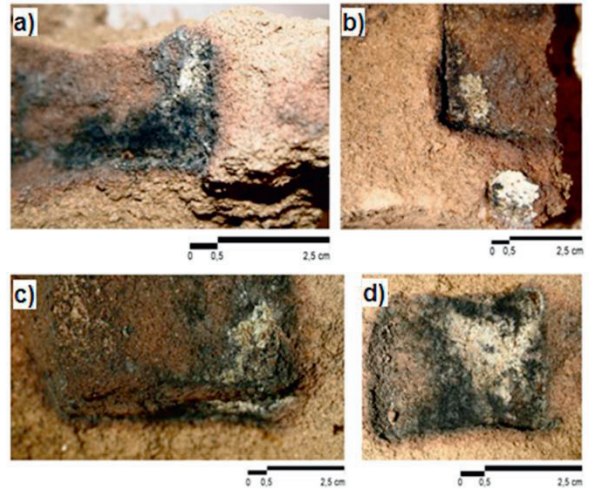


Fig. 10. Detalhe da zona de interface entre o bronze e o árido da Panasqueira: a) e b) pormenores da mistura de 15%, c) e d) pormenores da mistura de 25%.

Analisou-se a zona de contacto entre o metal fundido e o agregado fino e a zona contígua (região de difusão térmica). Na zona de contacto entre o bronze e o revestimento de agregado da Panasqueira (figuras 11, 12, 13 e 14) encontram-se elementos próprios da escória de fundição, tais como o enxofre, zinco e titânio. Tal fato permite concluir o ótimo comportamento do revestimento de agregado fino como fronteira limitadora do metal fundido, com porosidade adequada, suficiente para a possível expulsão de gases residuais, mas com um tamanho de poro que não permite a perda (fluxo) de metal fundido.

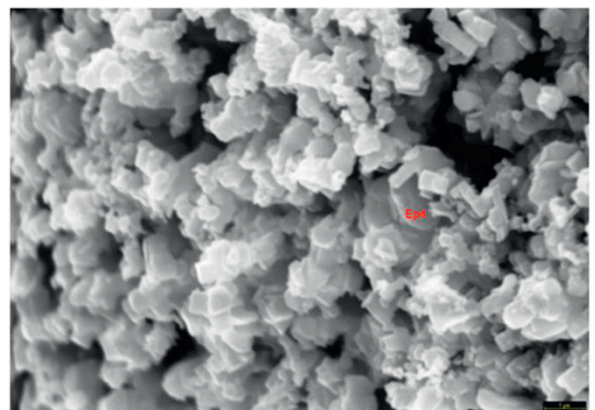


Fig. 11. Micrografia (SEM) da zona de contacto entre o bronze e o agregado fino da Panasqueira, mistura de 25% com ampliação de 8000 vezes.

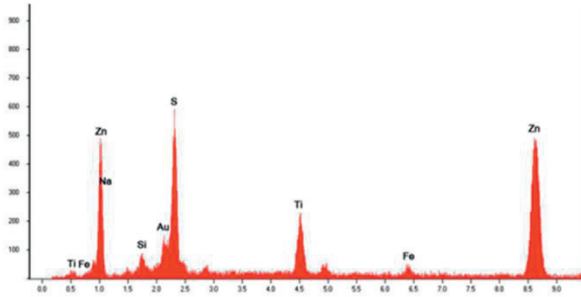


Fig. 12. Análise do espectro da figura 11 com elevada presença de enxofre, zinco e titânio (possivelmente do agregado) e sódio (possivelmente proveniente da paragonite ou da albite, minerais presentes no agregado).

Na figura 13 observa-se um grão de escória de fundição englobada por uma matriz plástica formada pelos restos de poliestireno expandido do modelo utilizado na fundição, verificando que a combustão foi incompleta, se bem que a maior parte do poliestireno se volatiliza ao contacto com o bronze vertido na caixa de moldação.

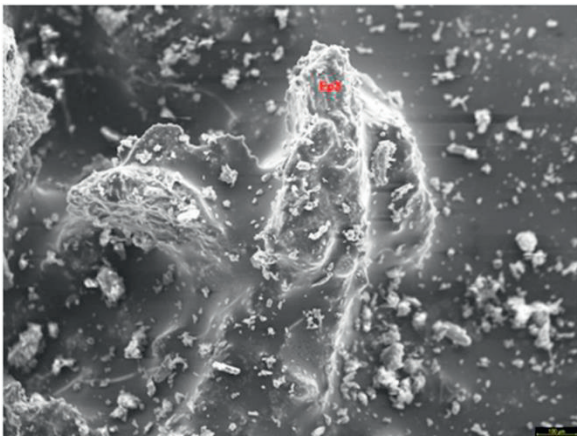


Fig. 13. Micrografia (SEM) da zona de contacto entre o bronze e agregado fino da Panasqueira, mistura de 15%, com ampliação de 80 vezes.

Na zona imediatamente contígua à “superfície contacto”, região de difusão térmica, figuras 15 e 16, não há vestígios destes elementos. Na imagem da figura 15 observa-se a presença do quartzo (Ep. 1) e lamelas de argila (Ep. 2 e Ep. 3), mas não há vestígios da presença de elementos próprios da escória de fundição ou restos de metal fundido.

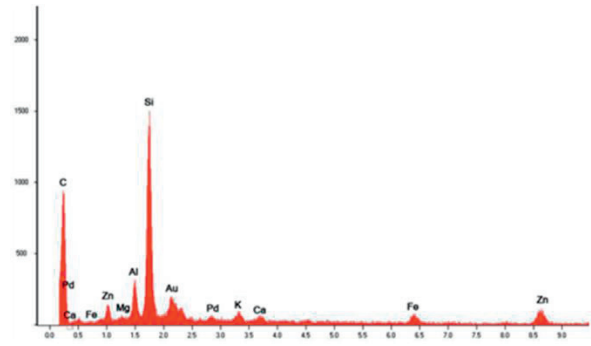


Fig. 14. Análise do espectro da figura 13 com o pormenor de um possível resto de escória de fundição.

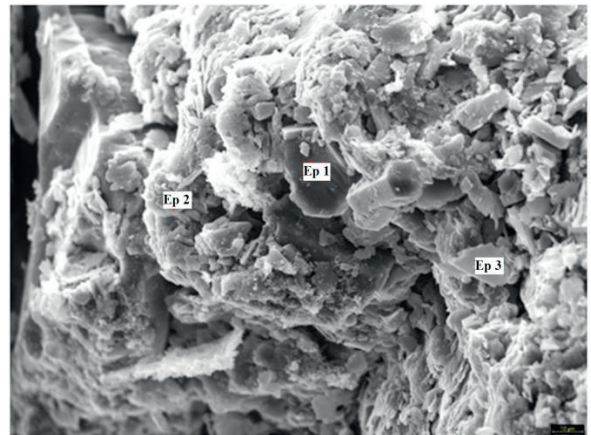


Fig. 15. Micrografia (SEM) com ampliação de 600 vezes da região de difusão térmica da mistura refratária de 25%.

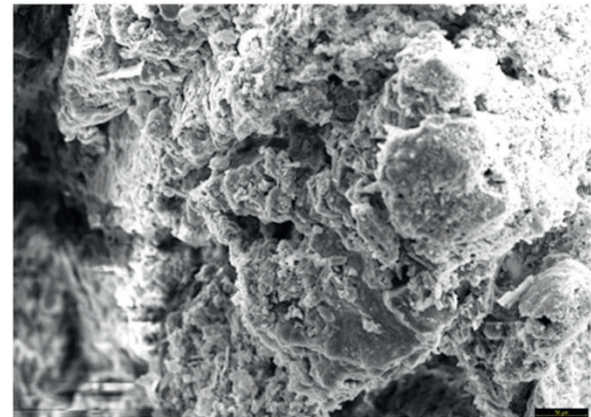


Fig. 16. Micrografia (SEM) com ampliação de 200 vezes da região de difusão térmica da mistura refratária de 25%.

Na região vizinha do interface entre o metal e o revestimento, figura 16, verifica-se a micro porosidade da região da difusão térmica, com tamanhos de poro que oscilam entre 10  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$ , 2  $\mu\text{m}$  e 1  $\mu\text{m}$ , permitindo o escape de possíveis gases residuais, mas não do metal fundido. Ainda é relevante o destaque para o tamanho do grão da matriz, assim como a presença dos grãos de quartzo e de lamelas de argila.

#### 4. Conclusões

Com a análise elementar e mineralógica da composição do agregado fino da Panasqueira confirmou-se a hipótese inicial no que concerne ao elevado grau de refratariedade deste agregado, o que o faz ideal para a sua utilização tanto em usos cerâmicos como na fundição artística em processos de moldação a verde.

Com o método proposto confirma-se a ótima compactação do agregado fino da Panasqueira como areia de revestimento da caixa de moldação material para este processo, assim como a sua grande capacidade como imitador do metal fundido (permitindo a expulsão dos gases residuais mas não o fluxo do bronze), promovendo uma ótima qualidade de cópia.

Não obstante, propõe-se a melhoria do processo técnico e sua adaptação à metodologia, continuando com ensaios e estudos tendo como objetivo a redução do teor de água necessária para a humidade de compactação da areia, controlar de forma mais eficiente a granulometria do agregado fino, bem como a otimização da técnica de mistura [11].

Finalmente conclui-se que o agregado fino obtido por moagem dos agregados da mina da Panasqueira utilizado nesta técnica de fundição não sofre transformações mineralógicas e físicas destacáveis, que prejudiquem as suas propriedades de plasticidade, compactabilidade e refratariedade.

A viabilidade do uso deste material em processos de moldação para fundição como a areia de conformação é elevada, permitindo um novo uso para os resíduos dos agregados de rocha provenientes da extração mineira e sua integração a baixo preço na indústria de fundição da região da Beira Interior (centro de Portugal e comunidades espanholas vizinhas).

Assim, é possível o aproveitamento e uma alta reutilização dos resíduos agregados das minas de Panasqueira, sem necessidade de métodos de seleção ou outras complexidades de processamento que não sejam uma moagem eficiente e que abrem oportunidades de emprego destes resíduos em

processos de fundição técnico-artísticos, contribuindo para o desenvolvimento de uma indústria de reutilização e para a diminuição do impacto ambiental atual.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio técnico fundamental dos centros de investigação da Universidade de Granada, Grupo de investigação HUM 629, do CAST – Centro de Ciência e Tecnologias Aeroespaciais e do CMADE - Centro de Materiais e Tecnologias da Construção da Universidade da Beira Interior.

#### Referências

- [1] R. Peralbo Cano, J.A. Durán Suárez, Reciclado de residuos procedentes de la elaboración de rocas ornamentales, 2007, *Rocmaquina Storeroc.com. Reed Business Information S.A. Unipersonal*. (<http://www.rocmaquina.es/>).
- [2] R. Silva, M. Calvo Rebollar, Mineralogía de Panasqueira, *Bocamina*. Núm. Esp., 12-27 (1997).
- [3] J.P. Castro-Gomes, C.S.R. Antunes, A.P. Silva, R.P. Cano, J.A. Durán Suárez, *Valorização de Resíduos* **14**, 23-28 (2009).
- [4] J.A. Durán Suárez, A. Sorroche Cruz, J. Rodríguez Gordillo, *Fundidores* **63**, 31-38 (1998).
- [5] J.P. Castro-Gomes, A.P. Silva, R.P. Cano, J. Durán Suarez, A. Albuquerque, *J. Clean. Prod.* **25**, 34-41 (2012).
- [6] J.A. Durán Suárez, J. Montoya Herrera, R. Peralbo Cano, A. Sorroche Cruz, J. Castro-Gomes, A.P. Silva, Utilización de residuos esquistosos-grauváquicos de las minas de Panasqueira (Portugal) en la formación de pastas cerámicas, ICEUBI – Int. Conf. Eng. UBI, Covilhã (Portugal), 2011 (CD-ROM).
- [7] NORMAL 7/81 CNR-ICR, Assorbimento D'Acqua per Immersione Totale-Capacità di Imbibizione, Roma, 1981, p.5.
- [8] NORMAL 21/85 CNR-ICR, Permeabilità al Vapor D'Acqua, Roma, 1985, p.5.
- [9] J.E. Hernández Ruiz, E. Valencia Morales, E. Villar Cociña, J. Vega Leiva, *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio* **41**, 253-258 (2002).
- [10] J.A. Durán Suárez, Estudio de consolidantes y protectivos para restauración de material pétreo, Ed. Dpto. Mineralogía y Petrología Universidad de Granada, 1996.
- [11] A.P. Silva, A.M. Segadães, D.G. Pinto, L.A. Oliveira, T.C. Devezas, *Powder Technol.* **226**, 107-113 (2012).