

# INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS EM MATERIAIS CERÂMICOS

por Eng.<sup>a</sup> Marisa Almeida, Eng.<sup>a</sup> Maria do Rosário Amaral e Dr. António Sousa Correia,  
do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, e Eng.<sup>o</sup> Manuel Fonseca de Almeida,  
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

## RESUMO

Com o presente trabalho pretendeu-se desenvolver materiais cerâmicos com características de densidade, isolamento térmico e acústico mais favoráveis que os tradicionais, promovendo simultaneamente uma alternativa de destino final para as lamas das estações de tratamento de águas residuais (ETAR).

Apresentam-se alguns resultados obtidos no projecto de investigação pré-competitiva desenvolvido, onde se incorporaram alguns tipos de lamas de ETAR urbanas em conjunto com resíduos florestais a composições cerâmicas do subsector da cerâmica estrutural. Estes materiais foram estudados sob o ponto de vista físico-químico, mineralógico, microbiológico e de aptidão cerâmica. A influência destes aditivos nas características dos materiais cerâmicos obtidos, como a resistência mecânica, a absorção de água e a densidade são também referidas.

As principais dificuldades ao nível do processamento cerâmico, bem como ao nível do impacto ambiental do projecto, são descritas igualmente neste trabalho.

A nível do estudo ambiental inerente ao desenvolvimento desta opção de destino final de resíduos (lamas de ETAR, e resíduos florestal) foram realizados quer ensaios de libertação de emissões gasosas, quer ensaios de lixiviação simples, e sequenciais do produto resultante, de acordo com os testes da USEPA –

EP Toxicity – e da NEN 7345, de modo a avaliar a eficácia de imobilização de alguns dos metais pesados presentes.

Conclui-se que as lamas urbanas com um teor típico de metais pesados podem ser incorporadas no fabrico de materiais cerâmicos de alvenaria, até percentagens de 20 a 30 % (v/v) com um potencial de lixiviação nulo ou desprezável. Assim, é tecnicamente viável a incorporação de lamas de ETAR em materiais cerâmicos de construção.

**Palavras chave:** resíduos; lamas de ETAR; materiais de construção; encapsulamento; inertização; ensaios de lixiviação.

## 1. – INTRODUÇÃO

As primeiras adições de materiais a composições cerâmicas remontam ao antigo Egipto, onde era comum aplicar palha nos tijolos secos ao Sol, actuando esta como ligante da matriz cerâmica e aumentando a resistência do produto. Desde então muitas adições têm sido ensaiadas nas composições cerâmicas com a finalidade de melhorar os aspectos da produção e a qualidade do produto final.

Particularmente, as pastas cerâmicas utilizadas na fabricação de tijolos são geralmente muito heterogêneas, consistindo numa série de matérias primas cerâmicas com composições variadas, podendo deste modo tolerar a presença de resíduos. Esta incorporação tem pelo menos duas grandes vantagens no aspecto ambiental:

- reutiliza resíduos e torna inertes alguns dos seus componentes;
- economiza matérias primas naturais.

Dadas as características particulares de alguns tipos de resíduos, nalguns casos são esperadas melhorias significativas a nível energético (caso dos agentes de porosidade do tipo orgânico) e mesmo das características do produto.

Assim, no presente trabalho estudaram-se as lamas de estações de tratamento de águas residuais domésticas (ETAR), bem como de resíduos florestais (ver as figuras 1 e 2).



Figura 1 – Mistura de lama com serrim



**Figura 2** – *Aspecto final da mistura de lama com serrim*

As lamas de ETAR surgem como produto residual da operação das estações de tratamento de águas residuais, quer de origem doméstica (lamas de ETAR), quer de origem industrial (lamas de ETARI). Imposições de ordem legislativa – em particular a Directiva Europeia sobre Águas Residuais, Directiva n.º 91/271/CEE – obrigam a que todas as descargas de esgotos de populações com um número de habitante/equivalente superior a 2.000 tenham de ser tratadas até final de 2005, conseqüentemente o número de ETARI aumentará.

Para o ano 2005 prevê-se que a produção de la-

mas na Europa possa ascender entre 8,4 e 10,1 milhões de toneladas (em base seca). Em Portugal prevê-se um aumento de cerca de 500% relativamente ao ano de 1992, cuja produção se cifrava nas 25.000 de toneladas por ano (em base seca).

As práticas de gestão e tratamento de lamas de ETAR desenvolvidas nas últimas décadas envolvem uma filosofia que passa usualmente pela minimização dos custos de deposição final. De entre as práticas mais correntes destaca-se a aplicação directa no solo, a deposição em aterros, a compostagem, e a incineração (comum em países desenvolvidos como a França, Inglaterra, Dinamarca, Alemanha e Holanda).

Neste projecto foi estudada uma alternativa de valorização das lamas de ETAR, na qual este resíduo é incorporado/misturado por si só ou juntamente com resíduos florestais em pastas cerâmicas, visando obter-se um material de alvenaria com características de densidade, isolamento térmico e acústico muito favoráveis, com retenção/encapsulamento de metais pesados e as substâncias na matriz cerâmica.

A adição de lamas de ETAR à massa cerâmica, não é uma ideia original, encontrando-se já patenteada em Inglaterra desde 1889 por Thomas Shaw (Bryan, 1984, Churchill, 1994). Foi, porém, retomada em 1980, por investigadores da Alemanha e dos EUA, chegando mesmo a existir em Brighton Dam Park, em Montgomery County, no Maryland, um edifício construído com tijolos ("biobricks"), obtidos com base em argila e lamas de ETAR (Bryan, 1984).

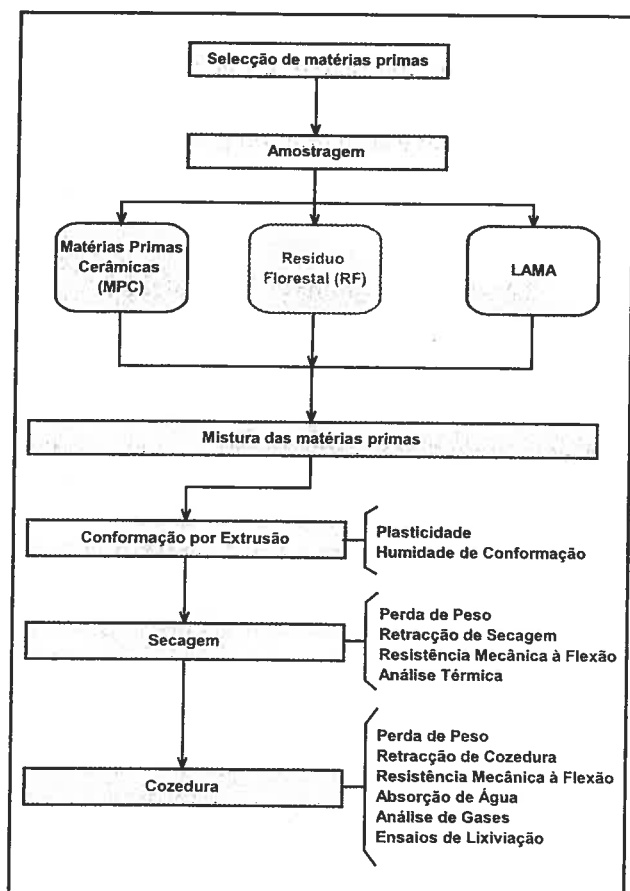
A ideia aqui desenvolvida é, no entanto, inovadora, dado que, em conjunto com as lamas de ETAR, se incorporam resíduos florestais. Estes têm a vantagem de melhorar a fase de mistura lama-argila. Além disso, tal como as lamas, beneficiam a porosidade e diminuem a quantidade de energia externa necessária à cozedura dos materiais, devido ao seu poder calorífico.

## 2. – DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

A figura 3 apresenta de uma forma resumida a metodologia de trabalho seguida.

### 2.1. – Caracterização das Matérias Primas

O trabalho iniciou-se, pela selecção e amostragem das matérias primas a utilizar na formulação de composições cerâmicas para o fabrico de materiais de cerâmica de alvenaria (estruturais), em par-



**Figura 3** – *Metodologia de trabalho adoptada*

**Quadro I – Resultados da caracterização físico-química da lama de ETAR**

| Parâmetros Medidos                      | Lama   |
|-----------------------------------------|--------|
| Humidade (%)                            | 82,0   |
| Voláteis (% ms) [550 °C]                | 56,5   |
| pH                                      | 7,325  |
| Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> ) | 0,99   |
| Cinzas (%) [1.000 °C]                   | 7,90   |
| Poder Calorífico (cal/g) [PCI]          | 3.400  |
| Alumínio (%) (*)                        | 2,2934 |
| Bário (%) (*)                           | 0,0062 |
| Cálcio (%) (*)                          | 2,4419 |
| Cádmio (%) (*)                          | 0,0008 |
| Cobre (%) (*)                           | 0,0444 |
| Cobalto (%) (*)                         | 0,0042 |
| Crómio (%) (*)                          | 0,014  |
| Ferro (%) (*)                           | 0,8840 |
| Magnésio (%) ( )                        | 0,3350 |
| Mangânese (%) (*)                       | 0,028  |
| Níquel (%) (*)                          | 0,0071 |
| Chumbo (%) (*)                          | 0,0028 |
| Zinco (%) (*)                           | 0,1785 |
| Sódio (%) ( )                           | 0,6285 |
| Potássio (%) (*)                        | 0,5419 |
| Titânio (%) (*)                         | 0,0388 |
| Vanádio (%) (*)                         | 0,0054 |

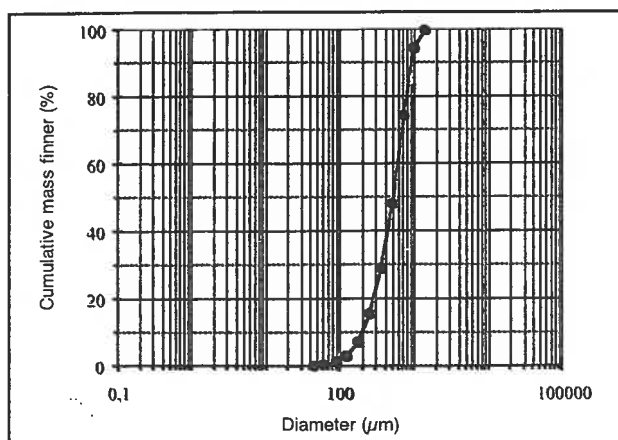
(\*) base seca em peso; ms – matéria seca.

ricular o tijolo.

Foram efectuados diversos ensaios de incorporação destes materiais em pastas cerâmicas. Neste artigo apresentam-se apenas os resultados de um conjunto de ensaios, referindo-se também as características dos materiais ao ensaio correspondente.

### 2.1.1 – Lama de ETAR

A lama utilizada neste estudo sofreu na ETAR uma digestão anaeróbia à qual se seguiu a desidratação mecânica. O Quadro I refere os principais resultados de caracterização físico-química. No Qua-



**Figura 4 – Curva granulométrica do resíduo florestal**

**Quadro II – Resultados obtidos por DRX**

| Mineral      | Lama |
|--------------|------|
| Alfa-Quartzo | **** |
| Feldspato    | *    |
| Calcite      | *    |
| Micas        | *    |
| Caulinite    | *    |

Observações: (\*\*\*\*) Cristalinidade elevada; (\*) Cristalinidade vestigial.

dro II apresentam-se os resultados da caracterização mineralógica da lama, seca a 50 °C, por difracção de raios X (DRX).

### 2.1.2 – Resíduo florestal

A figura 4 ilustra a distribuição granulométrica apresentada pelo resíduo florestal (após corte a 2 mm) e o Quadro III a respectiva caracterização físico-química.

### 2.1.3 – Argilas

As matérias primas cerâmicas foram secas a 110 °C e moídas até uma granulometria inferior a 2 mm, sendo também caracterizadas do ponto de vista químico, mineralógico e físico – análise granulométrica, análise termogravimétrica (ATG), análise térmica diferencial (ATD) e limites de Atterberg. No entanto, a sua caracterização é aqui omitida por não constituir um dado imprescindível na interpretação dos resultados de incorporação.

## 2.2 – Formulação das Composições

As composições formuladas apresentam-se na figura 5.

A mistura dos três componentes foi efectuada em laboratório, iniciando-se pela adição da lama tal qual ao serrim (após crivagem a 2 mm), seguindo-se a homogeneização destes com a argila, seca e moída a 2 mm. A conformação dos provetes, paralelepípedicos, foi realizada em feira laboratorial com dispositivo de vácuo, seguindo-se a etapa da secagem a 50 °C em estufa ventilada durante 24 horas. O processo de secagem completou-se com um período de 24 horas a 110 °C. Após esta fase determinaram-se as seguintes características: humidade de conformação, resistência mecânica à flexão, retracção verde-seco e den-

(Continua na página 26)

**Quadro III – Resultados da caracterização físico-química do resíduo florestal**

| Parâmetros Medidos                      | Resíduo Florestal |
|-----------------------------------------|-------------------|
| Humidade (%)                            | 49,5              |
| Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> ) | 0,257             |
| Cinzas (%) [1.000 °C]                   | 0,30              |
| Poder Calorífico (cal/g) [PCI]          | .617              |
| Alumínio (%) (*)                        | 0,0173            |
| Bário (%) (*)                           | 0,0015            |
| Cálcio (%) (*)                          | 0,0849            |
| Cádmio (%) (*)                          | 0,0001            |
| Cobre (%) (*)                           | 0,0009            |
| Cobalto (%) (*)                         | 0,0015            |
| Crómio (%) (*)                          | 0,0001            |
| Ferro (%) (*)                           | 0,0294            |
| Magnésio (%) (*)                        | 0,0478            |
| Manganês (%) (*)                        | 0,0055            |
| Níquel (%) (*)                          | 0,0025            |
| Chumbo (%) (*)                          | 0,0000            |
| Zinco (%) (*)                           | 0,0014            |
| Sódio (%) (*)                           | 0,0147            |
| Potássio (%) (*)                        | 0,0658            |
| Titânio (%) (*)                         | 0,0034            |
| Vanádio (%) (*)                         | 0,0010            |

(\*) base seca e seco.

sidade aparente.

Os provetes secos a 110 °C foram cozidos às temperaturas de pirómetro de 900 e 1.000 °C, em mufla eléctrica programável com ciclos consistindo numa rampa de aquecimento de 2 °C/minuto, até à temperatura máxima, duas horas de patamar àquela temperatura, e arrefecimento natural.

Após cozedura determinaram-se as seguintes características: resistência mecânica à flexão, retracção de cozedura, absorção de água, densidade aparente e perda de peso à cozedura.

Seleccionaram-se ainda algumas composições para determinação de limites de plasticidade de Atterberg, bem como para o estudo do comporta-

|                |    | % Resíduo Florestal |     |     |
|----------------|----|---------------------|-----|-----|
|                |    | 0                   | 10  | 20  |
| % Lama de ETAR | 0  | A                   | FS1 | FS2 |
|                | 10 | F1                  | FL1 | FL4 |
|                | 20 | F2                  | FL2 | FL5 |
|                | 30 | F3                  | FL3 | FL6 |

**Figura 5 – Formulações (% volumétrica)**

mento térmico através da análise termogravimétrica e ainda da análise térmica diferencial. Estes resultados não são, porém, apresentados. A porosidade total, aberta e fechada foram também determinadas nas várias composições, sendo estes resultados apresentados noutra publicação (Almeida, 1997), podendo-se referir que a porosidade total evoluiu de acordo com o expectável, isto é, aumentou com o teor de resíduos.

### 2.3. – Caracterização das Composições

O Quadro IV refere-se aos resultados das composições argila/lama/resíduo florestal obtidos durante a fase de secagem.

No que se refere à **humidade de conformação**, calculada em base húmida, as composições estudadas apresentam um aumento relativamente à pasta sem qualquer adição (A). Para o caso extremo de adição de resíduos (FL6), verifica-se um aumento de quase 10 pontos percentuais, facto justificável tendo em conta a natureza e o teor de humidade dos resíduos adicionados.

**Quadro IV – Características após secagem (110 °C) das composições estudadas**

| Propriedades Após Secagem a 110 °C                   | A    | FS1  | FS2  | F1   | F2   | F3   |
|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Humidade de extrusão (%)                             | 19,0 | 18,9 | 21,4 | 20,7 | 21,5 | 22,9 |
| Retracção verde-seco (%)                             | 6,42 | 5,43 | 5,64 | 6,62 | 6,66 | 6,48 |
| Resistência mecânica à flexão (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 107  | 106  | 96   | 115  | 114  | 117  |
| Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )              | 1,95 | 2,00 | 1,91 | 1,97 | 1,91 | 1,85 |
| Propriedades Após Secagem a 110 °C                   | FL1  | FL2  | FL3  | FL4  | FL5  | FL6  |
| Humidade de extrusão (%)                             | 22,0 | 26,3 | 27,4 | 22,0 | 24,6 | 29,4 |
| Retracção verde-seco (%)                             | 6,11 | 5,99 | 7,29 | 5,83 | 6,06 | 6,82 |
| Resistência mecânica à flexão (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 118  | 118  | 119  | 110  | 113  | 102  |
| Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )              | 1,88 | 1,81 | 1,66 | 1,80 | 1,71 | 1,53 |

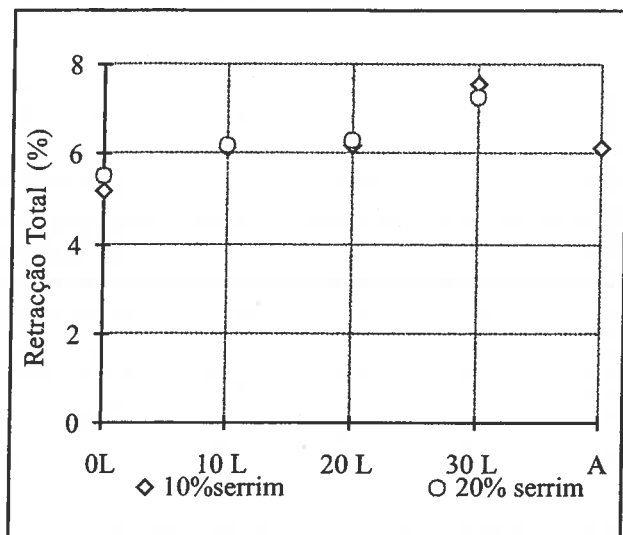


Figura 6 – Retraccio total (%) a 900 °C

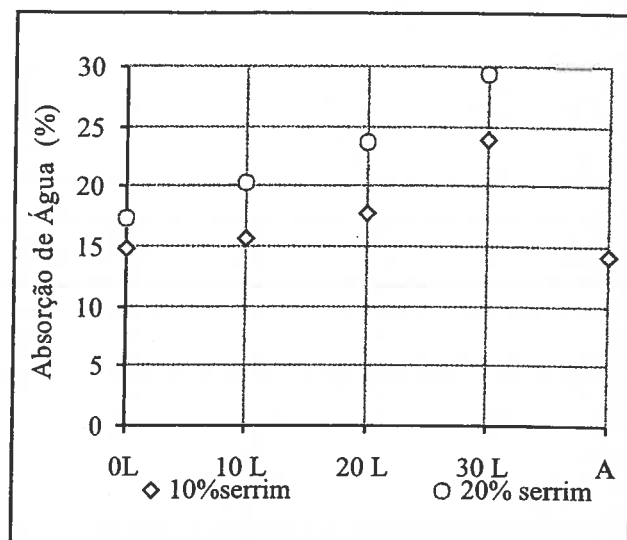


Figura 7 – Absorcao de agua (%) a 900 °C

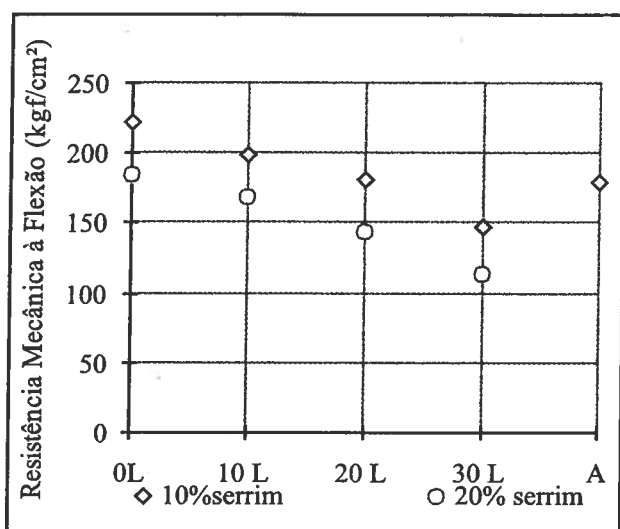


Figura 8 – Resistencia mecanica a flexao (kgf/cm²) a 900 °C

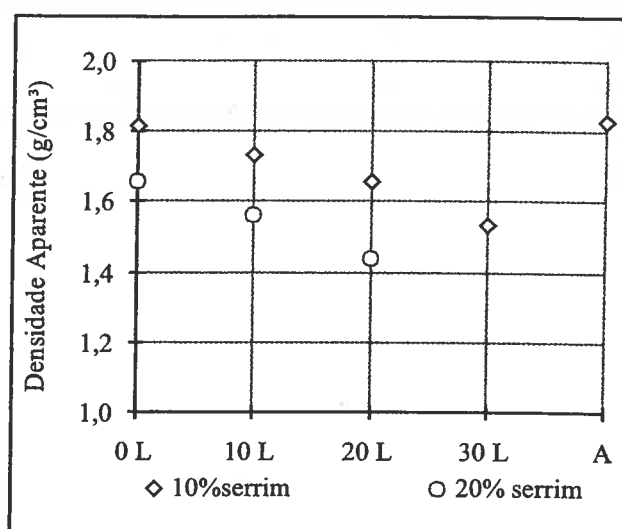


Figura 9 – Densidade aparente (g/cm³) a 900 °C

A retraccio de secagem não ultrapassa valores considerados excessivos para este tipo de material (8%), mesmo no caso extremo da composicao com

30% de lama (v/v) e 20% de resíduo florestal (v/v). A incorporacao de resíduo florestal permite uma diminuicao desta caracteristica, atingindo-se mesmo resultados para a retraccio inferiores a pasta sem qualquer tipo de adicao. Já a adicao apenas de lamas (composicoes F1, F2 e F3) provoca o efeito contrario, isto é, um aumento da retraccio verde-seco de um modo ligeiro.

No que se refere a resistencia mecanica a flexao, a obtencao de valores superiores ao da pasta sem adicao, para algumas das composicoes estudadas, nomeadamente naquelas em que se incorpora lama indicam que esta adicao pode ser vantajosa.

Os resultados após cozadura para retraccio total, absorcao de agua, resistencia mecanica a flexao e densidade aparente a 900 °C apresentam-se nas figuras 6, 7 e 8 e 9. As mesmas caracteristicas, mas após cozadura a 1.000 °C, são apresentadas nas figuras 10, 11, 12 e 13. Os graficos representam para uma mesma temperatura de cozadura, as variacoes intro-

#### RECTIFICACAO

No n.º 244 da Kérâmica (Novembro-Dezembro/2000) foi publicado na secção de "Materias Primas" o artigo "Reutilizacao de Residuos Sólidos na Unidade de Atomizacao do Grupo Adelinho Duarte da Mota", nas paginas 30 a 36.

Lamentavelmente foi cometido um erro ao indicar incorrectamente o nome do primeiro autor do citado artigo. Assim, e repondo a verdade dos factos, o autor é o Dr. Ruben Ferreira Jorge, e não Dr. Jorge Ferreira conforme foi publicado.

Ao Dr. Ruben Ferreira Jorge apresentamos as devidas desculpas, pelo erro cometido e pelo transtorno associado ao mesmo.



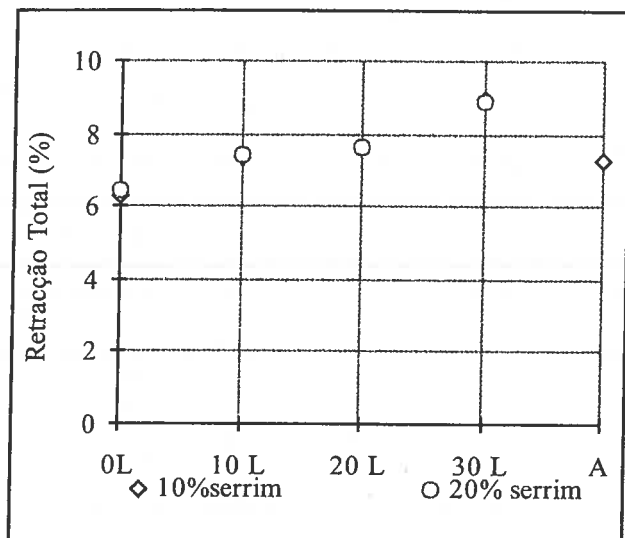


Figura 10 – Retraccção total (%) a 1.000 °C

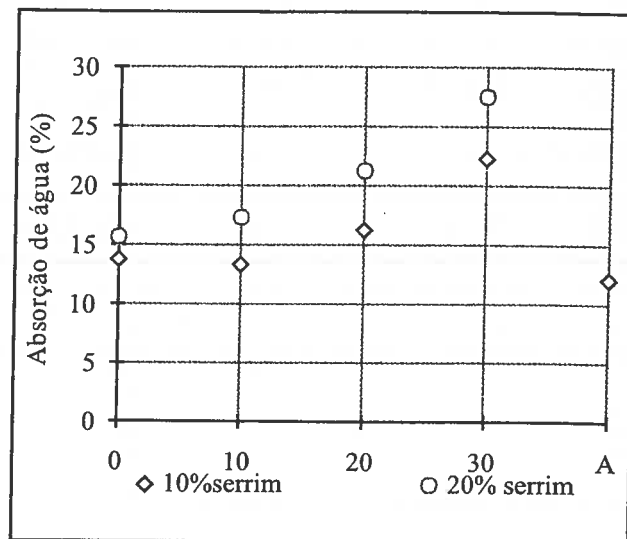


Figura 11 – Absorção de água (%) a 1.000 °C

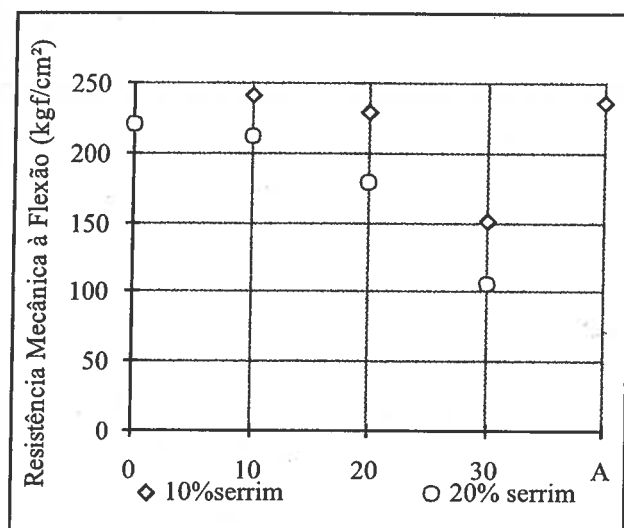


Figura 12 – Resistência mecânica à flexão (kgf/cm²) a 1.000 °C

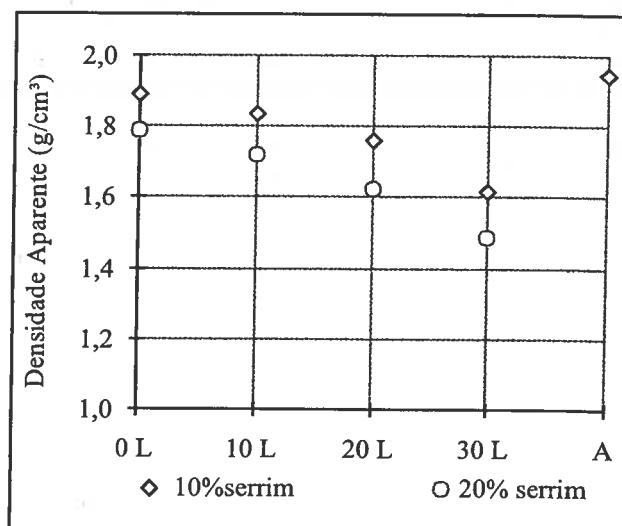


Figura 13 – Densidade aparente (g/cm³) a 1.000 °C

duzidas pelos dois níveis de resíduo florestal utilizado (10 e 20%), função da quantidade de lama adicionada (0, 10, 20 e 30% – v/v).

A tendência evidenciada nos gráficos é a esperada: a **absorção de água** aumenta com o teor de resíduo adicionado, contrariamente à **resistência mecânica à flexão**.

No caso da **absorção de água** os dados nominais obtidos são demasiado elevados (> 15%), sendo de realçar o efeito significativo da adição de resíduo florestal. Refira-se, ainda, que a própria pasta sem qualquer tipo de adições apresenta já, quer a 900 °C, quer a 1.000 °C, valores elevados para este parâmetro. Porém, no caso da **resistência mecânica à flexão** os resultados encontram-se dentro dos limites aceitáveis para este tipo de produto.

O efeito da duplicação do teor em resíduo florestal, face à mesma quantidade de lama, é notório em todas as propriedades após cozedura, excepto para a **retracção total**, que não indicia qualquer tipo de

tendência relacionada com a adição de resíduo florestal. Este facto pode ser interpretado pelo efeito dominante da lama nesta propriedade.

Os dados obtidos para a **densidade aparente** revelam claramente os efeitos da incorporação dos resíduos de carácter orgânico em estudo, ambos diminuindo visivelmente o “peso aparente” do material cozido.

Foram ainda estudadas as características do material em parede, em termos de isolamento térmico e acústico, tendo-se concluído que estas características são incrementadas favoravelmente como seria de esperar.

## 2.4 – Análise do Impacte Ambiental

A avaliação de impactes ambientais gerados pela incorporação destes resíduos em materiais cerâmi-

(Continua na página 30)

Quadro V – Resultados dos ensaios de lixiviação segundo o teste EP Toxicity

| Elemento  | A = Br  | F1      | F3    | FS2   | FL2     | FL3     | FL6     |
|-----------|---------|---------|-------|-------|---------|---------|---------|
| Ba (mg/l) | 1,10    | 0,81    | 0,64  | 1,19  | 1,22    | 0,54    | 0,75    |
| Zn (mg/l) | 0,578   | 0,302   | 0,485 | 0,621 | 0,826   | 0,637   | 0,572   |
| Fe (mg/l) | 0,165   | 0,207   | 0,140 | 0,247 | 0,188   | 0,122   | 0,210   |
| Ni (mg/l) | 0,041   | 0,047   | 0,082 | 0,085 | 0,070   | 0,058   | 0,048   |
| Cu (mg/l) | 0,074   | 0,057   | 0,065 | 0,047 | 0,085   | 0,102   | 0,070   |
| As (mg/l) | 0,00857 | 0,01638 | —     | —     | 0,02378 | 0,03196 | 0,01434 |

cos, dirigiu-se essencialmente à avaliação das emissões gasosas durante a fase de cozedura e à realização de ensaios de lixiviação ao produto final, de modo a verificar a fixação de contaminantes (essencialmente metais pesados) na matriz.

Na estimativa das emissões gasosas efectuaram-se ensaios de simulação em forno laboratorial adaptado para tal finalidade. Os metais pesados libertados durante a cozedura (aqui não apresentada directamente) é pouco significativa, encontrando-se mesmo para alguns metais pesados (Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Hg e Ni) abaixo ou nas proximidades do limite de detecção em EAA.

Relativamente ao teor inicial de cada elemento na composição, dos ensaios realizados conclui-se que o zinco, níquel e crómio são os metais pesados que apresentam a maior libertação face ao seu conteúdo inicial. Assim seremos levados a deduzir que estes elementos não são tão bem retidos pela matriz cerâmica.

Assim, a incorporação deste tipo de lamas de ETAR em materiais cerâmicos, agrava algumas das emissões gasosas de metais pesados aquando da cozedura, de um modo pouco significativo.

No entanto, dado que esta conclusão se baseia em factores de emissão obtidos à escala laboratorial e não industrial, não se deve dispensar nunca a carac-

terização dos efluentes gasosos “in situ”, aquando da implementação da produção de materiais cerâmicos com lamas de ETAR.

Quanto aos poluentes orgânicos (\*) libertados na fase de pré-aquecimento do material em estudo, isto é, abaixo da sua temperatura de ignição, foram estimados a nível laboratorial, a duas temperaturas, 200 e 500 °C, em 4 composições: A = Br, FS1, F2 e FL2. De um modo geral, apesar de se ter verificado grande heterogeneidade nas réplicas de cada amostra, as emissões de compostos orgânicos voláteis (COV) totais são superiores a 220 °C, com a excepção da amostra FL2, que possui maiores emissões de COV totais à temperatura de 500 °C.

Relembre-se que existem compostos mais voláteis do que outros, uns libertando-se preferencialmente a 220 °C e outros a 500 °C.

Mais uma vez, se alerta, para a determinação deste parâmetro à escala industrial.

Os ensaios de lixiviação que indiciam a possibilidade do material produzido mobilizar poluentes para o ambiente, inferindo-se o tipo de ligação destes poluentes com a matriz cerâmica, foram realizados segundo o procedimento da USEPA (EP Toxicity test) cujos resultados se apresentam no Quadro V, e segundo a norma NEN 7345 (resultados apresentados nas figuras 14, 15, 16 e 17).

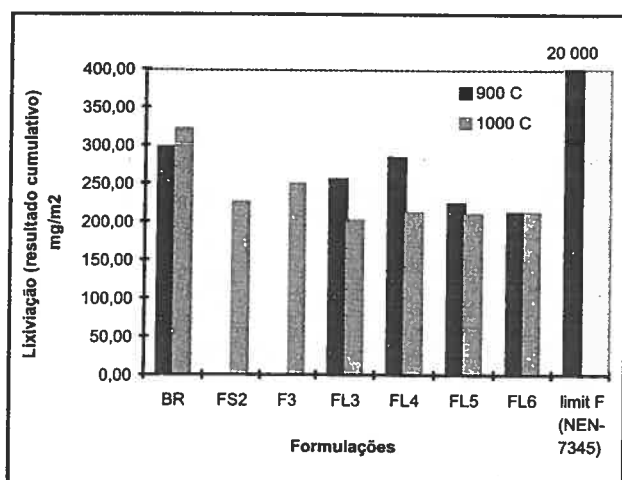


Figura 14 – Cloretos no lixiviado

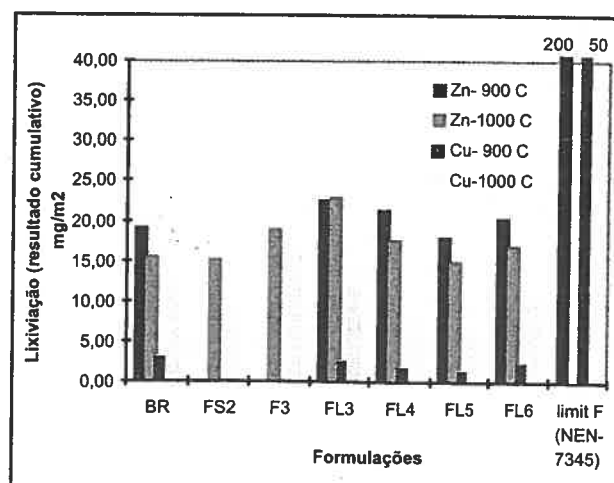


Figura 15 – Cobre e zinco no lixiviado

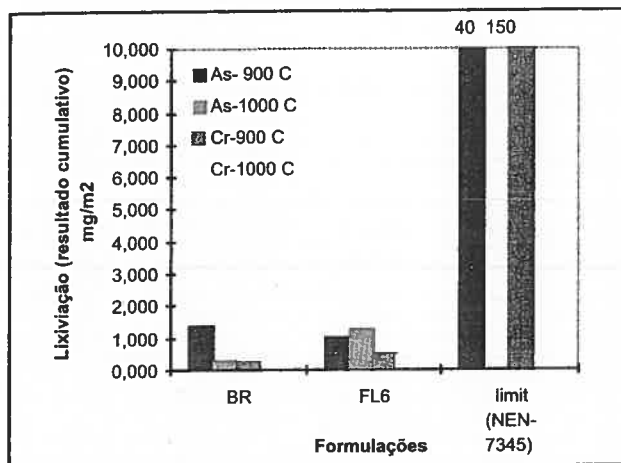


Figura 16 – Arsénio e crómio no lixiviado

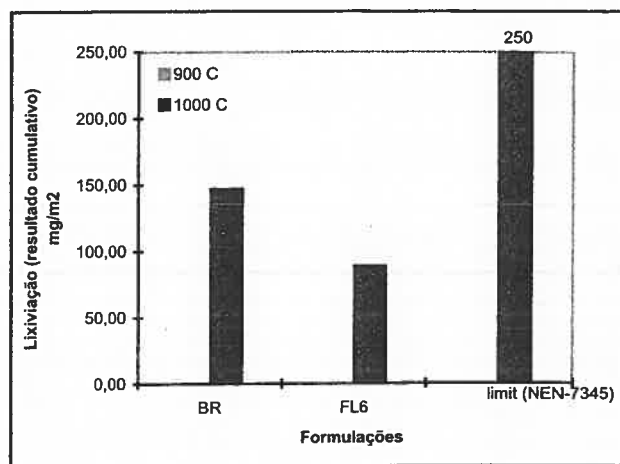


Figura 17 – Vanádio no lixiviado

O EP Toxicity é um teste usado para classificar os resíduos em perigosos e não perigosos mas é utilizado largamente para outras finalidades. Utiliza uma solução de ácido acético (simulando a deposição num aterro municipal), sob condições de agitação.

O teste NEN 7345 é muito usado em materiais de construção, e realiza 8 extracções sucessivas durante 64 dias, utilizando uma solução de ácido nítrico. Note-se, no entanto, que para este tipo de materiais não há ainda imposições relativas a estas avaliações, pelo que os valores limites apresentados pelos respectivos protocolos são utilizados apenas para fins comparativos.

No lixiviado do teste EP Toxicity foram também analisados Ag, Cd, Hg e Pb, todos abaixo do limite de detecção por EAA (os valores limite são respectivamente 5,0 mg/l, 1,0 mg/l, 0,2 mg/l e 5,0 mg/l). Em todas as soluções de extracção sucessiva do teste NEN 7345 também se analisaram o Co, Mo, Cd, Pb e Hg, mas não foram detectados. Quanto ao Cr, Ni e V, na maioria das extracções, encontram-se abaixo do limite de detecção.

Os resultados da lixiviação obtidos em ambos os

testes indicam pois, que as diferentes formulações ensaiadas possuem um potencial de mobilização muito pouco significativo. Assim, poder-se-á concluir que a incorporação deste tipo de resíduos em materiais cerâmicos de alvenaria não lhes conferem perigosidade, contribuindo estes para o encapsulamento de metais pesados.

No Quadro VI apresenta-se uma estimativa da percentagem do elemento que foi retida (não mobilizada) na matriz cerâmica após cozedura a 1.000 °C e ensaio de lixiviação. Este cálculo foi efectuado somente para a composição FL2, e é um indicador de quão efectiva é a ligação entre o elemento e a matriz cerâmica (Almeida, 1997). Este indicador foi efectuado com base em duas réplicas, razão pela qual se apresentam dois intervalos. Foi determinado com base na composição inicial, composição final após cozedura a 1.000 °C, lixiviação e análise de gases.

### 3. – CONCLUSÕES

A adição de lamas de ETAR e serrim conduz a produtos cerâmicos de menor densidade, com incremento da porosidade do material e da capacidade

Quadro VI – Percentagem de elemento retido na matriz cerâmica da composição FL2

| E elemento | Retenção na Matriz Cerâmica a 1.000 °C (%) |
|------------|--------------------------------------------|
| Cr         | > 99 - > 99                                |
| Fe         | 99,99 - 99,99                              |
| Ba         | 97,07 - 97,07                              |
| Cd         | > 99 - > 99                                |
| Cu         | 97,96 - 97,87                              |
| Ni         | 97,51 - 89,43                              |
| Pb         | > 99 - > 99                                |
| Zn         | 87,52 - 85,99                              |
| As         | 89,88 - 89,84                              |
| Hg         | 97,77 - 97,75                              |

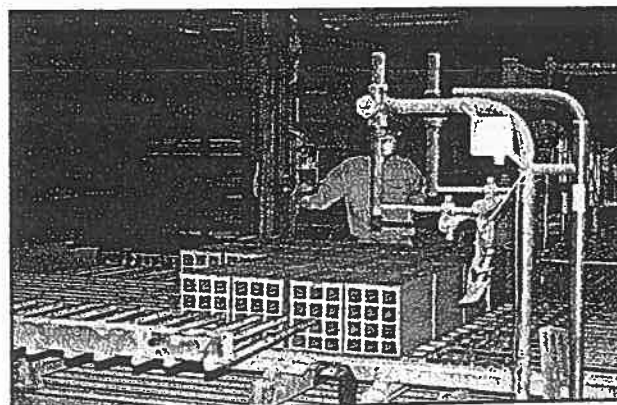


Figura 18 – Aspecto final do tijolo



de isolamento térmico e acústico, para além de resolver um problema actual – destino final das lammas de ETAR –, possuindo a vantagem de inertizar os metais pesados, processo este tanto mais favorável quanto mais elevada for a temperatura máxima de cozedura, dentro dos limites de viabilidade tecnológica (ver a figura 18).

Assim, a incorporação de lammas de ETAR em materiais cerâmicos de alvenaria é tecnicamente viável, desde que as adições deste resíduo não excedam 20% (v/v), com ou sem 10% (v/v) de resíduo florestal. Adições superiores condicionam a utilização destes produtos, nas aplicações tradicionais da construção civil, dado que os valores de resistência mecânica e absorção de água, não são favoráveis.

Deste modo as lammas de ETAR passam a constituir-se como uma matéria prima, capaz de originar um produto com interesse comercial, maior leveza e melhores características de isolamento térmico e acústico, que os materiais convencionais. Deve a implementação à escala industrial passar, pelo menos, pela avaliação das condições de transporte e manuseamento das lammas, controlo de odores e emissões gasosas durante as fases de conformação, secagem e cozedura, determinação periódica das características das lammas, resíduos florestais, ensaios tecnológicos e de lixiviação ao produto final.

Relembra-se ainda que a implementação de alternativas de valorização/destino final de resíduos se encontra regulamentada em termos de licenciamento industrial também pelo Decreto-Lei n.º 239/97 e pela Portaria n.º 961/98.

#### 4. – AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi parcialmente executado no âmbito da participação do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV), no projecto Craft BRE2 – CT94.1575 – “Ceramic Building Materials with Improved Insulation Characteristics Using Waste Substances from Urban Sewage Treatment Plants” – tendo como contratante o consórcio liderado pela empresa Cerâmicas Aguilar (Espanha) a quem os autores agradecem a possibilidade de divulgar alguns dos resultados.

O primeiro autor agradece o apoio concedido pelo programa Praxis XXI, através da bolsa concedida na frequência do mestrado em Engenharia do Ambiente na Faculdade de Engenharia da Univer-

sidade do Porto.

#### 5. – BIBLIOGRAFIA

As referências bibliográficas são as seguintes:

- M. I. A. Almeida, “A Incorporação de Lammas de ETAR em Materiais de Construção”, MSc thesis – Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Setembro 1997.
- M. I. A. Almeida, M. F. Almeida, M. R. Amaral, e A. M. Sousa Correia, “Ceramic Building Materials: An Alternative in Disposal of Sewage Sludge, Proc. V ECERS – Conference and Exhibition of the European Ceramic Society, 2280-2283, França, 1997.
- A. S. H. et al, “Brick and Tile Making – Procedures and Operating Practice in the Heavy Clay Industries”, Ed. Bauverlag, Berlim, pg. 788, 1982.
- E. H. Bryan, “Biobricks and Innovation – Bio-cycle”, 25 (4) 48, 1984.
- E. H. Bryan, “Biobricks Become a Construction Reality”, Water, Engineering & Management, 131(2) 38-59, 1984.
- M. Churchill, “Aspects of Sewage Sludge Utilisation and its Impact on Brickmaking”, Global Ceramic Review 1, 19-21, 1994
- M. I. A. Almeida et al, “Uma Solução Definitiva para as Lammas de ETAR”, V Conferência Nacional sobre Qualidade do Ambiente, 2, 1797-1807, 1996.
- H. A. Sloot et al, “Similarities in the Leaching Behaviour of Trace Contaminants from Waste, Stabilized Waste, Construction Materials and Soils”, Science of Total Environment, 178, 111-126, 1996.
- J. H. Tay, “Bricks Manufactured from Sludge”, Journal of Environmental Engineering, 113 (2), 278-289, 1987. •



(\*) Desde o hexano ao hexadecano usando como factor de resposta o tolueno e ácidos e aldeídos de baixo peso molecular