



QUALIFICAÇÃO E RENOVAÇÃO: A FUNDIÇÃO PORTUGUESA NA UE

ESTUDO EFICIÊNCIA DE PROCESSOS PRODUTIVOS PARA AS PME DO SETOR

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



Associação
Portuguesa de
Fundição

Índice

| | |
|--|----|
| RESUMO E ENQUADRAMENTO DO ESTUDO | 2 |
| ETAPAS DO ESTUDO | 4 |
| 1. Apanhado de quantidades com base nos dados das empresas | 6 |
| 2. Caracterização inorgânica completa dos resíduos | 6 |
| 3. Determinação granulométrica das areias | 6 |
| 4. Incorporação em materiais cerâmicos de barro vermelho | 23 |
| 5. Incorporação de areias em misturas betuminosas | 32 |
| 6. Compilação de resultados de estudos anteriores realizados a pedido da APF | 43 |
| 7. Memória Técnica | 46 |

Resumo e enquadramento do estudo

As areias verdes e areias de machos são resíduos produzidos nos processos de fundição, quer de metais ferrosos quer de não ferrosos. Apresentam-se, na maior parte das situações, como resíduos classificados como não perigosos. Por estudos realizados a pedido da Associação Portuguesa de Fundição no passado, e muitos outros estudos realizados por investigadores em Portugal o no resto do mundo, existe um potencial elevado de utilizar estas areias por outros setores industriais, nomeadamente na produção de misturas betuminosas a quente e na fabricação de materiais cerâmicos de barro vermelho.

A legislação atual sobre gestão de resíduos prevê a possibilidade de materiais residuais poderem, sob determinadas circunstâncias, ser considerados “*não resíduo*”. Esta situação consubstancia o chamado “*Fim de estatuto de resíduo – FER*”, conforme dispõe o artigo 44.º B do Regime Geral de Gestão de Resíduos. Por outro lado, um resíduo pode, também de acordo com determinadas condições e circunstâncias, ser considerado “*subproduto*”, conforme indica o artigo 44.º-A do Regime Geral de Gestão de Resíduos. Estas disposições datam de 2011, através da publicação do decreto-lei n.º 73/2011, de 17 de junho (diploma RGGR), que transpõe para a ordem jurídica interna a diretiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro, relativa aos resíduos.

Mais recentemente, com a aprovação do decreto-lei nº 75/2015 de 11 de maio, que aprova o Regime de Licenciamento Único de Ambiente, conjugado com o disposto no decreto-lei nº 73/2015 de 11 de maio, que aprova o Sistema da Indústria Responsável, passou a ser possível a qualquer industrial introduzir, no seu processo tecnológico, resíduos em substituição de matérias-primas naturais. Para tal bastando declarar essa situação, em sede de processo de licenciamento industrial e ambiental, no contexto do disposto naqueles diplomas.

Neste último enquadramento, atualmente em vigor à data da realização deste estudo, de certo modo, a pertinência de obtenção do estatuto de fim de resíduo ou de obtenção de declaração de subproduto, surge como menos imprescindível face à possibilidade aberta pela legislação de 2015, que efetivamente parece simplificar e estimular a utilização dos resíduos como recursos, no contexto daquilo a que agora se costuma chamar “*Economia Circular*”.

Em qualquer das situações, importa verificar que consequências a substituição de uma matéria prima natural por um resíduo tem, quer ao nível da qualidade dos produtos finais ou intermédios a fabricar, quer ao nível da proteção ambiental. Nesta última perspetiva importa considerar aspetos regulamentares aplicáveis a cada tipo de produto e, em particular, aspetos relacionados com o fim de vida dos produtos, por forma a salvaguardar impactes ambientais potencialmente adversos, que possam ser relacionados como consequência daquela substituição.

No presente estudo realizar-se-ão ensaios de laboratório com vista a avaliar, de forma complementar aos conhecimentos já disponíveis, o potencial de utilização das areias de fundição como matéria-prima na produção de misturas betuminosas a quente e na fabricação de materiais cerâmicos de barro vermelho. Será feita também uma análise das opções a tomar, no contexto da legislação atual, preparando-se um modelo de memória técnica a considerar nas situações de enquadramento legal aplicáveis.

Etapas do estudo

O estudo consta das seguintes etapas, das quais se apresentam os resultados já disponíveis:

1. Apanhado de quantidades com base nos dados das empresas

A estimativa realizada, com base em consultas a algumas empresas, permitiu estimar as seguintes quantidades, geradas à escala nacional, em 2016:

Fundições de ferrosos:

Areias verdes – entre 60 000 e 80 000 toneladas

Areias e machos com aglutinantes orgânicos – entre 5 000 e 8 000 toneladas

Fundições de não ferrosos:

Areias de moldação – entre 15 000 e 18 000 toneladas

Machos – entre 6 000 e 8 000 toneladas

As quantidades são variáveis de ano para ano, consoante os níveis de produção das empresas. Por outro lado, a introdução de boas práticas visando limitar a geração de resíduos, nomeadamente a implementação de operações de reciclagem interna de areias e também de outros resíduos, teve como consequência que, durante os últimos 20 anos, a quantidade de resíduos do setor tem reduzido, até valores que revelam já um grau elevado de eficiência.

A prática corrente continua, contudo, e no que à gestão dos resíduos diz respeito, a ser a deposição dos mesmos em aterros para resíduos inertes e, em menor grau, em aterros para resíduos não perigosos, ou a gestão dos resíduos como perigosos nos casos em que as suas características assim

o indicam. Apenas nalgumas situações pontuais se verificam ações de valorização, nomeadamente na introdução de areias na feitura de clínquer, situação que está limitada por razões técnicas, mas principalmente por razões de localização geográfica das fábricas cimenteiras. Importa, por isso, encontrar alternativas de valorização, menos dependentes em termos de localização geográfica e suficientemente consumidoras de materiais que permitam considerar o escoamento da maior parte dos resíduos do setor.

2. Caracterização inorgânica completa dos resíduos

e

3. Determinação granulométrica das areias

Tendo sido recolhidas 8 amostras de areias de fundição, 6 das quais oriundas de fundições de ferrosos e 2 de não ferrosos, procedemos à sua caracterização, obtendo os seguintes resultados.

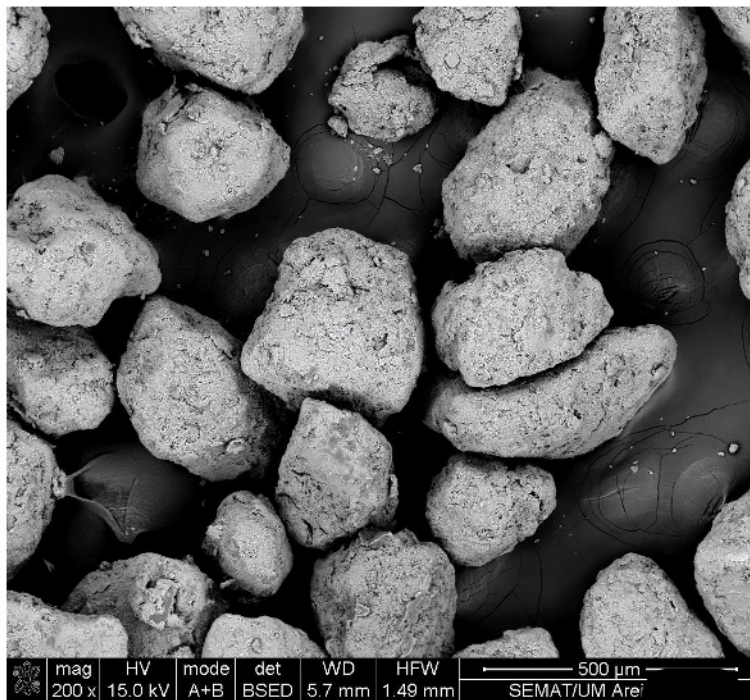
3.1. Amostra 1 – Areia verde da empresa [REDACTED]

Tipo de fundição: ferro fundido

- Composição química obtida por espectrometria de fluorescência de raios X (base seca):

| | |
|----------------------------------|--------|
| SiO ₂ - | 78,2 % |
| Al ₂ O ₃ - | 11,9 % |
| MgO - | 2,1 % |
| Na ₂ O - | 1,8 % |
| CaO - | 1,3 % |
| Fe ₂ O ₃ - | 1,0 % |
| SO ₃ - | 0,6 % |
| C - | 2,6 % |

- Microscopia eletrônica de varrimento:



Trata-se de uma areia francamente siliciosa, com granulometria regular, situada entre 100 e 500 micrómetros.

- Distribuição granulométrica (em %)

| | |
|------------------|------|
| > 4 mm - | 0 |
| 2-4 mm - | 0,26 |
| 1-2 mm - | 1,2 |
| 0,5-1 mm - | 3,2 |
| 0,25-0,5 mm - | 83,9 |
| 0,125-0,25 mm - | 10,4 |
| 0,063-0,125 mm - | 0,89 |
| < 0,063 mm - | 0,18 |

Estimativa de tamanho médio: 298 mm

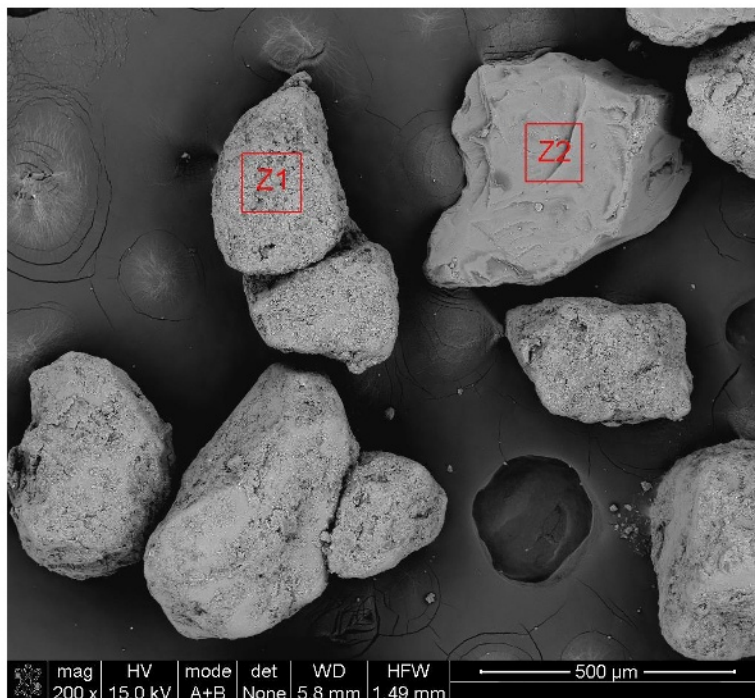
3.2. Amostra 2 – Areia verde da empresa [REDACTED]

Tipo de fundição: aço e ferro fundido

- Composição química obtida por espectrometria de fluorescência de raios X (base seca):

| | |
|----------------------------------|--------|
| SiO ₂ - | 74,2 % |
| Al ₂ O ₃ - | 13,5 % |
| MgO - | 1,7 % |
| Na ₂ O - | 2,0 % |
| CaO - | 1,8 % |
| Fe ₂ O ₃ - | 1,5 % |
| SO ₃ - | 1,1 % |
| C - | 2,8 % |

- Microscopia eletrônica de varrimento:



A areia apresenta duas fases distintas:

Uma delas, minoritária, Z1, é constituída por um silico-aluminato contendo MgO, CaO e Na₂O. A outra, Z2, maioritária, é constituída por sílica de elevada pureza.

- Distribuição granulométrica (em %)

| | |
|------------------|------|
| > 4 mm - | 1,0 |
| 2-4 mm - | 0,7 |
| 1-2 mm - | 1,1 |
| 0,5-1 mm - | 31,1 |
| 0,25-0,5 mm - | 56,2 |
| 0,125-0,25 mm - | 9,2 |
| 0,063-0,125 mm - | 0,50 |
| < 0,063 mm - | 0,32 |

Estimativa de tamanho médio: 464 μ m

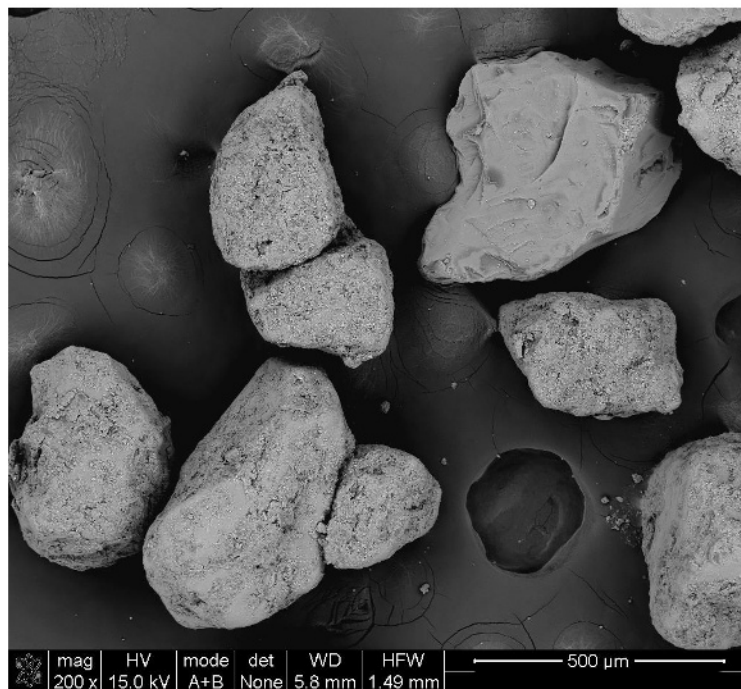
3.3. Amostra 3 – Areia verde da empresa [REDACTED]

Tipo de fundição: ferro fundido

- Composição química obtida por espectrometria de fluorescência de raios X (base seca):

| | |
|----------------------------------|--------|
| SiO ₂ - | 90,8 % |
| Al ₂ O ₃ - | 3,7 % |
| MgO - | 0,3 % |
| Na ₂ O - | 0,5 % |
| CaO - | 0,3 % |
| Fe ₂ O ₃ - | 0,4 % |
| SO ₃ - | 0,3 % |
| C - | 3,3 % |

- Microscopia eletrônica de varrimento:



Trata-se de uma areia constituída principalmente por sílica. Alguns grãos, muito minoritários, são de silico-aluminato de magnésio e cálcio.

- Distribuição granulométrica (em %)

| | |
|------------------|------|
| > 4 mm - | 1,3 |
| 2-4 mm - | 0,27 |
| 1-2 mm - | 0,13 |
| 0,5-1 mm - | 0,79 |
| 0,25-0,5 mm - | 80,4 |
| 0,125-0,25 mm - | 16,1 |
| 0,063-0,125 mm - | 0,74 |
| < 0,063 mm - | 0,23 |

Estimativa de tamanho médio: 367 μ m

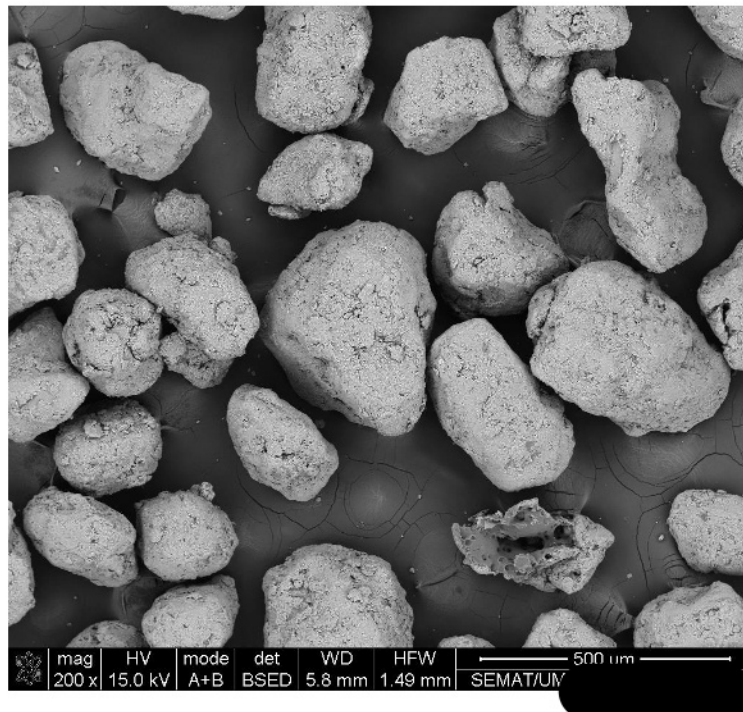
3.4. Amostra 4 – Areia verde da empresa

Tipo de fundição: ferro fundido

- Composição química obtida por espectrometria de fluorescência de raios X (base seca):

| | |
|----------------------------------|--------|
| SiO ₂ - | 71,7 % |
| Al ₂ O ₃ - | 12,8 % |
| MgO - | 3,2 % |
| Na ₂ O - | 0,5 % |
| CaO - | 3,1 % |
| Fe ₂ O ₃ - | 1,8 % |
| SO ₃ - | 0,6 % |
| C - | 2,5 % |

- Microscopia eletrônica de varrimento:



Trata-se de uma areia homogênea, constituída por silico-aluminato de magnésio e cálcio.

- Distribuição granulométrica (em %)

| | |
|------------------|------|
| > 4 mm - | 0,03 |
| 2-4 mm - | 0,11 |
| 1-2 mm - | 0,13 |
| 0,5-1 mm - | 1,8 |
| 0,25-0,5 mm - | 87,2 |
| 0,125-0,25 mm - | 8,9 |
| 0,063-0,125 mm - | 1,1 |
| < 0,063 mm - | 0,68 |

Estimativa de tamanho médio: 284 mm

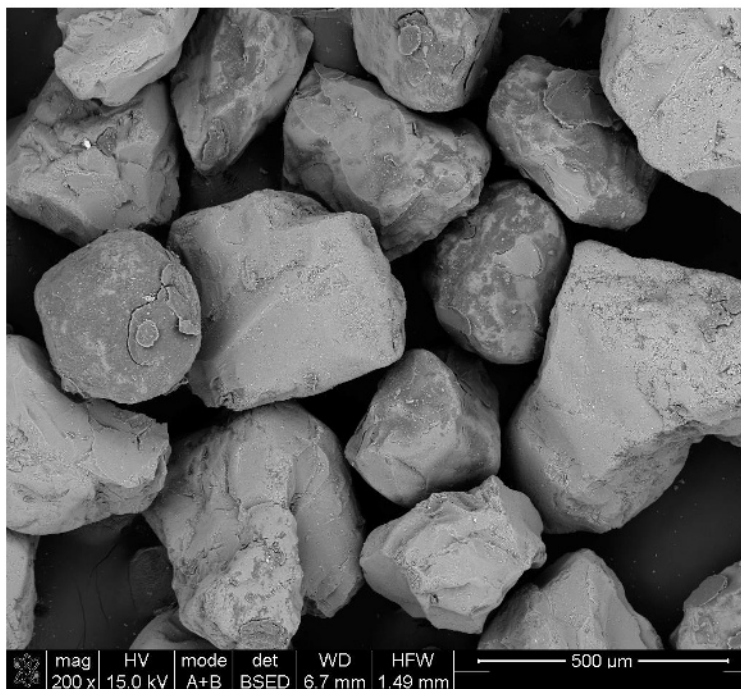
3.5. Amostra 5 – Areia de moldação manual da empresa [REDACTED]

Tipo de fundição: ferro fundido

- Composição química obtida por espectrometria de fluorescência de raios X (base seca):

| | |
|----------------------------------|---------|
| SiO ₂ - | 97,3 % |
| Al ₂ O ₃ - | 0,9 % |
| MgO - | 0,1 % |
| Na ₂ O - | < 0,1 % |
| CaO - | 0,1 % |
| Fe ₂ O ₃ - | 0,2 % |
| SO ₃ - | 0,5 % |
| C - | 0,5 % |

- Microscopia eletrônica de varrimento:



Trata-se de uma areia francamente siliciosa.

- Distribuição granulométrica (em %)

| | |
|------------------|------|
| > 4 mm - | 0,45 |
| 2-4 mm - | 0,09 |
| 1-2 mm - | 0,07 |
| 0,5-1 mm - | 3,8 |
| 0,25-0,5 mm - | 80,2 |
| 0,125-0,25 mm - | 14,0 |
| 0,063-0,125 mm - | 1,2 |
| < 0,063 mm - | 0,27 |

Estimativa de tamanho médio: 312 mm

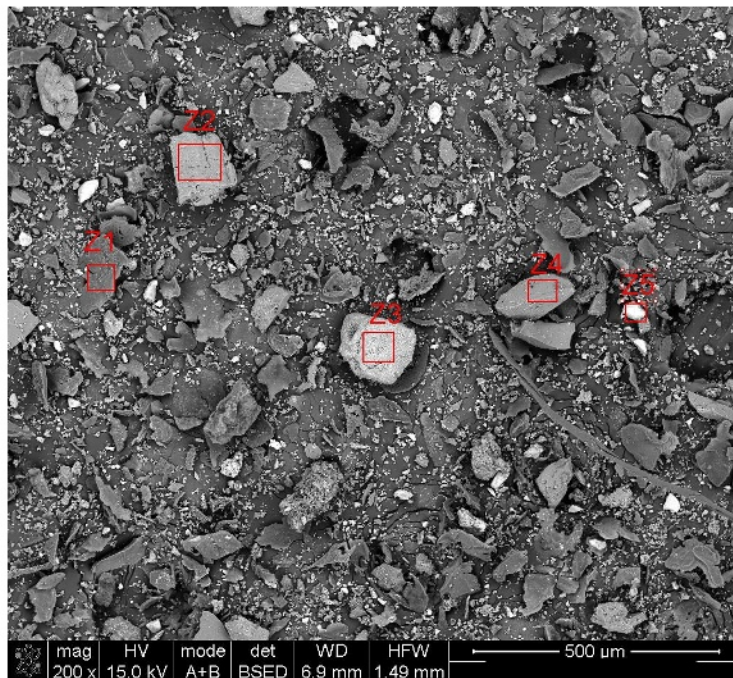
3.6. Amostra 6 – Finos de vazamento da empresa [REDACTED]

Tipo de fundição: aço

- Composição química obtida por espectrometria de fluorescência de raios X (base seca):

| | |
|----------------------------------|--------|
| SiO ₂ - | 30,1 % |
| Al ₂ O ₃ - | 9,2 % |
| MgO - | 0,5 % |
| Na ₂ O - | 0,9 % |
| CaO - | 0,9 % |
| ZrO ₂ - | 21,0 % |
| Fe ₂ O ₃ - | 16,7 % |
| SO ₃ - | 7,8 % |
| C - | 9,2 % |

- Microscopia eletrônica de varrimento:



Trata-se de um resíduo complexo, identificando-se uma quantidade importante de carbono (Z1), e ainda:

Z2 – silico-aluminato de magnésico o potássio

Z3 – silico.-aluminato de zircónio

Z4 – sílica de elevada pureza, provavelmente quartzo

Z5 – silicato de zircónio

- Distribuição granulométrica (em %)

| | |
|------------------|------|
| > 4 mm - | 0 |
| 2-4 mm - | 0 |
| 1-2 mm - | 0,01 |
| 0,5-1 mm - | 0,01 |
| 0,25-0,5 mm - | 2,5 |
| 0,125-0,25 mm - | 81,5 |
| 0,063-0,125 mm - | 5,6 |
| < 0,063 mm - | 10,5 |

Estimativa de tamanho médio: 130 mm

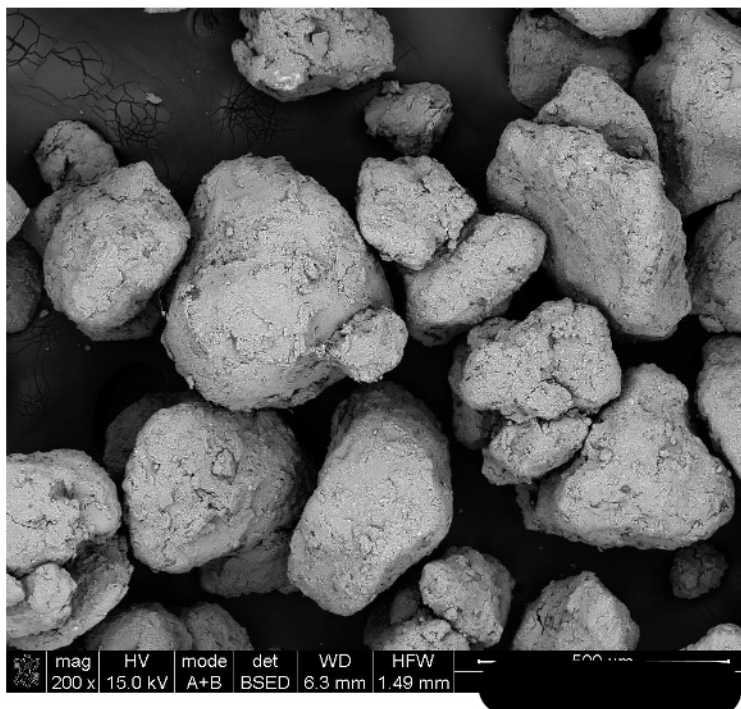
3.7. Amostra 7 – Areia verde da empresa [REDACTED]

Tipo de fundição: alumínio

- Composição química obtida por espectrometria de fluorescência de raios X (base seca):

| | |
|----------------------------------|--------|
| SiO ₂ - | 82,0 % |
| Al ₂ O ₃ - | 10,2 % |
| MgO - | 1,6 % |
| Na ₂ O - | 1,6 % |
| CaO - | 0,9 % |
| Fe ₂ O ₃ - | 1,1 % |
| SO ₃ - | 0,1 % |
| C - | 1,4 % |

- Microscopia eletrónica de varrimento:



Trata-se de uma areia homogénea, constituída por silico-aluminato de magnésio, sódio e cálcio.

- Distribuição granulométrica (em %)

| | |
|------------------|------|
| > 4 mm - | 1,9 |
| 2-4 mm - | 0,82 |
| 1-2 mm - | 0,20 |
| 0,5-1 mm - | 21,5 |
| 0,25-0,5 mm - | 64,6 |
| 0,125-0,25 mm - | 10,8 |
| 0,063-0,125 mm - | 0,09 |
| < 0,063 mm - | 0,11 |

Estimativa de tamanho médio: 491 mm

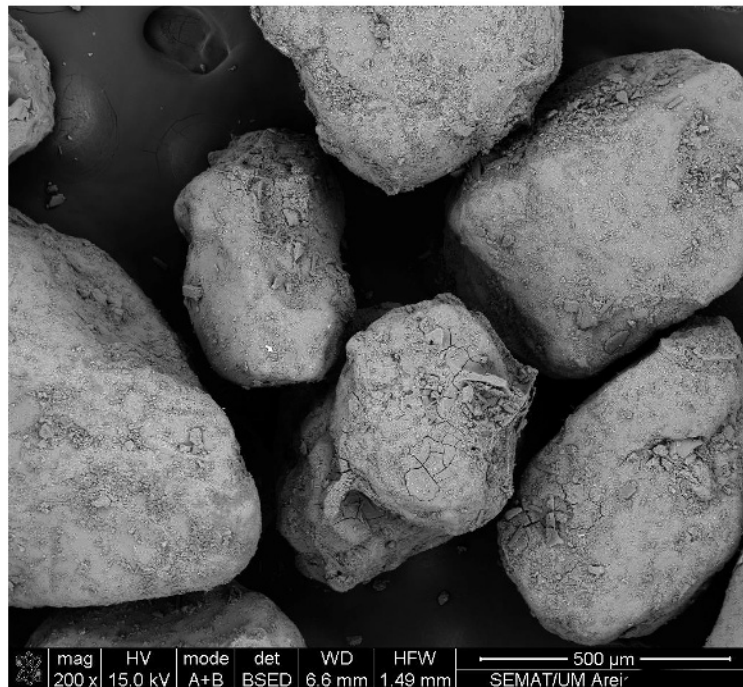
3.8. Amostra 8 – Areia verde da empresa [REDACTED]

Tipo de fundição: bronze

- Composição química obtida por espectrometria de fluorescência de raios X (base seca):

| | |
|----------------------------------|---------|
| SiO ₂ - | 90,4 % |
| Al ₂ O ₃ - | 0,5 % |
| MgO - | 0,1 % |
| Na ₂ O - | 8,3 % |
| CaO - | 0,1 % |
| Fe ₂ O ₃ - | 0,1 % |
| SO ₃ - | < 0,1 % |
| C - | 0,4 % |

- Microscopia eletrônica de varrimento:



Trata-se de uma areia quartzítica, contendo, à superfície, quantidade relevantes de silicato de sódio.

- Distribuição granulométrica (em %)

| | |
|------------------|------|
| > 4 mm - | 1,5 |
| 2-4 mm - | 0,9 |
| 1-2 mm - | 3,7 |
| 0,5-1 mm - | 62,1 |
| 0,25-0,5 mm - | 29,4 |
| 0,125-0,25 mm - | 2,0 |
| 0,063-0,125 mm - | 0,17 |
| < 0,063 mm - | 0,09 |

Estimativa de tamanho médio: 640 mm

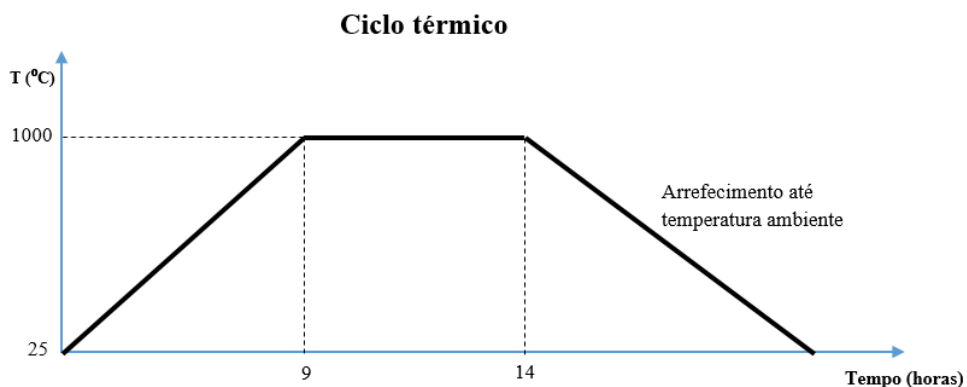
4. Incorporação em materiais cerâmicos de barro vermelho

Foram realizados provetes cerâmicos incorporando areias de fundição, na extrusora monofuso de laboratório disponível no CVR, cuja foto se apresenta de seguida.



Extrusora monofuso de laboratório

Os provetes foram obtidos por mistura em misturador e laminador de laboratório, passando depois a mistura pela extrusora, dando origem a provetes em verde. Esses provetes foram então sujeitos a um processo de uniformização de humidade por colocação em panos húmidos durante 24h, após o que se procedeu à sua secagem em estufa, primeiro a 40 °C durante 24 horas e depois a 110 °C, durante outro tanto tempo. Após a secagem, os provetes foram objeto de cozedura, segundo o ciclo térmico que a figura seguinte ilustra.



Ciclo térmico utilizado na cozedura dos provetes

Após a cozedura, 5 provetes de cada condição foram ensaiados à flexão, no equipamento laboratorial ilustrado na figura seguinte.



Prensa para determinação da resistência à flexão

Para os diversos ensaios, empregou-se uma argila utilizada na fabricação de tijolos em barro vermelho, oriunda de uma empresa da zona de Vila Verde. Das areias caracterizadas, selecionou-se a areia verde da empresa [REDACTED] que se considerou representativa da generalidade das areias verdes geradas em Portugal. Efetivamente, das 6 amostras de areias de fundição de ferrosos caracterizadas, 5 delas apresentam características químicas e físicas similares, sendo exceção apenas as areias finas de proveniência da [REDACTED] que se apresentam muito mais finas e ricas em carbono do que as restantes.

Realizaram-se ensaios com duas % diferentes de incorporação, e ainda uma série de provetes de controlo, sem adição de areias.

As misturas produzidas foram então, as seguintes:

Mistura 0 – controlo (100 % de argila)

Mistura 1 – 95 % de argila e 5 % de areia

Mistura 2 – 80 % de argila e 20 % de areia

Os resultados individuais de resistência à flexão (em N/mm²) obtidos são apresentados nas tabelas seguintes, onde, na segunda delas se refere a média e o desvio padrão para os 5 valores obtidos.

| % | Rf (N/mm ²) |
|----|-------------------------|
| 0 | 3,13 |
| 0 | 2,75 |
| 0 | 3,51 |
| 0 | 3,64 |
| 0 | 2,82 |
| 5 | 3,35 |
| 5 | 3,70 |
| 5 | 3,10 |
| 5 | 4,05 |
| 5 | 3,41 |
| 20 | 2,90 |
| 20 | 2,33 |
| 20 | 2,88 |
| 20 | 2,52 |
| 20 | 3,52 |

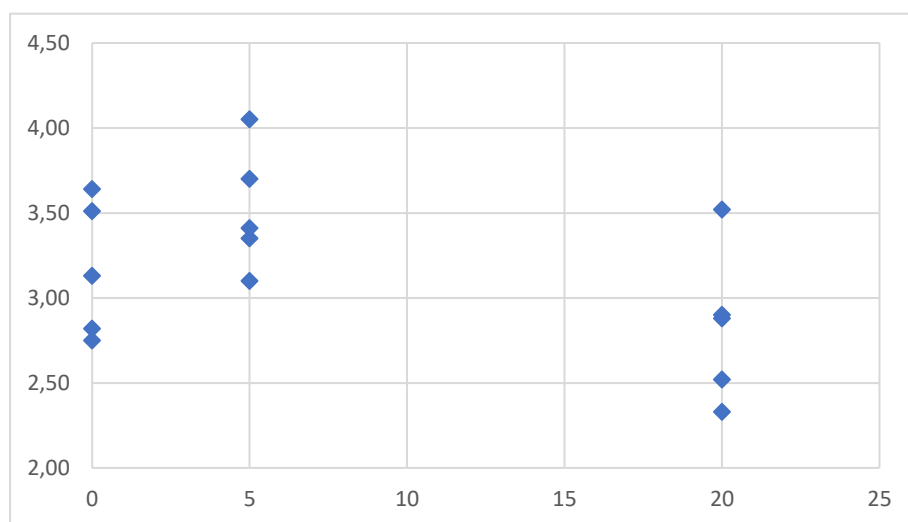
Resultados da resistência à flexão (em N/mm²)

| % areia | 0 | 5 | 20 |
|--------------|------|------|------|
| Média | 3,17 | 3,52 | 2,83 |
| Desv. Padrão | 0,40 | 0,36 | 0,46 |

Resultados da resistência à flexão (média e desvio padrão em N/mm²)

Conclui-se que uma incorporação de apenas 5 % parece melhorar ligeiramente a resistência à flexão dos provetes, embora a diferença entre os valores médios não possa ser considerada significativa. Por outro lado, também para a incorporação de 20 % se constata que o resultado obtido não é significativamente diferente dos restantes valores.

O gráfico seguinte ilustra o efeito, que deve ser considerado não significativo, em termos estatísticos.



Efeito da adição de areias verdes de fundição (em %) na resistência à flexão dos provetes cerâmicos

Como conclusão pode-se apontar que é viável substituir a argila até 20 % por areias de fundição, sem que seja perceptível um efeito significativo sobre a resistência à flexão do material.

Para avaliar o desempenho ambiental dos materiais contendo areias, foi realizada a caracterização prevista no Decreto – Lei 183/2009, Anexo IV, Parte B, Tabela 2 e 3, de 10 de Agosto, que consta da realização da análise química de diversos parâmetros e de ensaio de lixiviação seguido de análise do eluato para outros parâmetros.

Esta caracterização pretende avaliar se o produto cerâmico, quando no final do seu ciclo de vida, constituindo então um resíduo, pode ser, ou não, depositado em aterro para resíduos inertes, situação que ocorre normalmente com os materiais cerâmicos componentes de resíduos de construção e demolição (códigos LER 17 01 02 e 17 01 03).

A caracterização incidiu sobre várias frações dos provetes contendo 5 e 20 % de areias, conduzindo aos seguintes resultados:

Provetes com 5 % de incorporação de areias

Análise química do material:

| Parâmetro | unidades | Especificação | Resultado |
|------------------------|----------|---------------|-----------|
| COT | mg/kg | 30 000 | 40 |
| BTEX | mg/kg | 6 | < 6 |
| PCB | mg/kg | 1 | < 0,02 |
| Óleo mineral C10 a C40 | mg/kg | 500 | < 5 |
| HAP | mg/kg | 100 | < 30 |

Análise química do eluato:

| Parâmetro | unidades | Especificação | Resultado |
|-----------------------|----------|---------------|-----------|
| pH | | | 6,5 |
| Condutividade a 25 °C | mS/cm | | < 0,15 |
| As | mg/kg | 0,5 | < 0,02 |
| Ba | mg/kg | 20 | < 0,10 |
| Cd | mg/kg | 0,04 | < 0,02 |
| Cr | mg/kg | 0,5 | < 0,05 |
| Cu | mg/kg | 2 | < 0,2 |
| Hg | mg/kg | 0,01 | < 0,01 |
| Mo | mg/kg | 0,5 | < 0,02 |
| Ni | mg/kg | 0,4 | 0,06 |
| Pb | mg/kg | 0,5 | < 0,3 |
| Sb | mg/kg | 0,06 | < 0,01 |
| Se | mg/kg | 0,1 | < 0,01 |
| Zn | mg/kg | 4 | 0,04 |
| Cloreto | mg/kg | 800 | < 1 |
| Fluoreto | mg/kg | 10 | < 1 |
| Sulfato | mg/kg | 1 000 | < 100 |
| Índice de fenol | mg/kg | 1 | < 0,1 |
| COD | mg/kg | 500 | 12 |
| SDT | mg/kg | 4 000 | < 100 |

Provetes com 20 % de incorporação de areias

Análise química do material:

| Parâmetro | unidades | Especificação | Resultado |
|------------------------|----------|---------------|-----------|
| COT | mg/kg | 30 000 | 47 |
| BTEX | mg/kg | 6 | < 6 |
| PCB | mg/kg | 1 | < 0,02 |
| Óleo mineral C10 a C40 | mg/kg | 500 | < 5 |
| HAP | mg/kg | 100 | < 30 |

Análise química do eluato:

| Parâmetro | unidades | Especificação | Resultado |
|-----------------------|----------|---------------|-----------|
| pH | | | 6,1 |
| Condutividade a 25 °C | mS/cm | | < 0,15 |
| As | mg/kg | 0,5 | < 0,02 |
| Ba | mg/kg | 20 | < 0,10 |
| Cd | mg/kg | 0,04 | < 0,02 |
| Cr | mg/kg | 0,5 | < 0,05 |
| Cu | mg/kg | 2 | < 0,2 |
| Hg | mg/kg | 0,01 | < 0,01 |
| Mo | mg/kg | 0,5 | < 0,02 |
| Ni | mg/kg | 0,4 | 0,16 |
| Pb | mg/kg | 0,5 | < 0,3 |
| Sb | mg/kg | 0,06 | < 0,01 |
| Se | mg/kg | 0,1 | < 0,01 |
| Zn | mg/kg | 4 | 0,03 |
| Cloreto | mg/kg | 800 | < 1 |
| Fluoreto | mg/kg | 10 | < 1 |
| Sulfato | mg/kg | 1 000 | < 100 |
| Índice de fenol | mg/kg | 1 | < 0,1 |
| COD | mg/kg | 500 | 16 |
| SDT | mg/kg | 4 000 | < 100 |

Verifica-se que todos os parâmetros se encontram dentro dos limites legislados para efeitos de deposição em aterro para resíduos inertes. Regista-se uma ligeira subida do valor de lixiviação para o níquel, sendo que, contudo, o valor se situa ainda bem abaixo do limiar legal.

Como conclusão final deste estudo aponta-se a viabilidade técnica e ambiental da incorporação de areias verdes de fundição em materiais cerâmicos de barro vermelho, até valores de incorporação na ordem dos

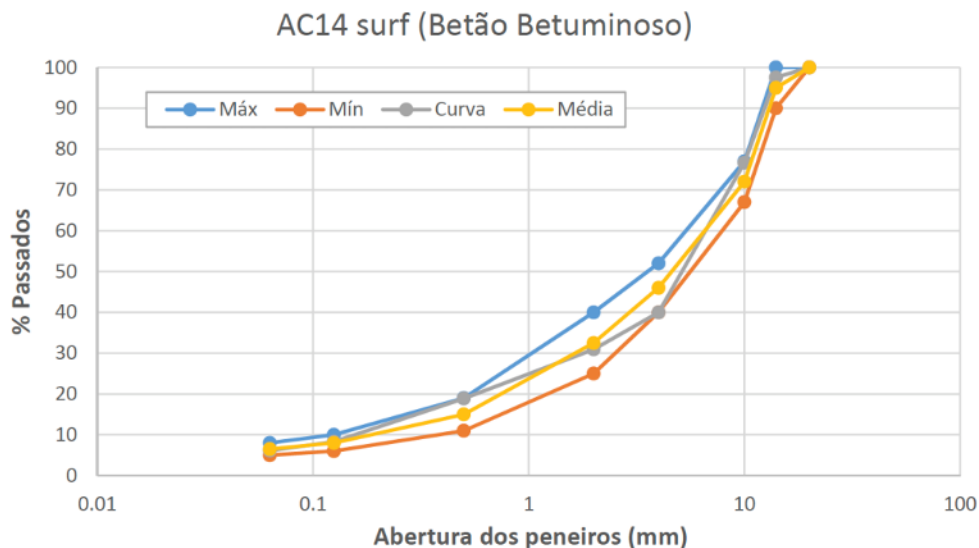
20 %, não sendo de excluir a possibilidade de esta percentagem poder ser ainda superior, convindo, contudo, salvaguardar, o aspeto relacionado com a lixiviação do elemento níquel.

5. Incorporação de areias em misturas betuminosas

Realizaram-se ensaios de incorporação de areias de fundição, em substituição de areias naturais na formulação de misturas betuminosas a quente. Para o efeito, utilizou-se também a areia proveniente da empresa ██████████, por ser considerada suficientemente representativa das areias de fundição de ferrosos mais geradas em Portugal.

A reduzida dimensão e amplitude da granulometria das areias dificulta a sua incorporação em misturas betuminosas em quantidades significativas. Assim, tomou-se a granulometria da areia ██████████ como sendo representativa de uma parte significativas das areias geradas em Portugal e avaliou-se a taxa máxima de incorporação da mesma em diferentes tipos de misturas betuminosas, para diferentes situações de aplicação.

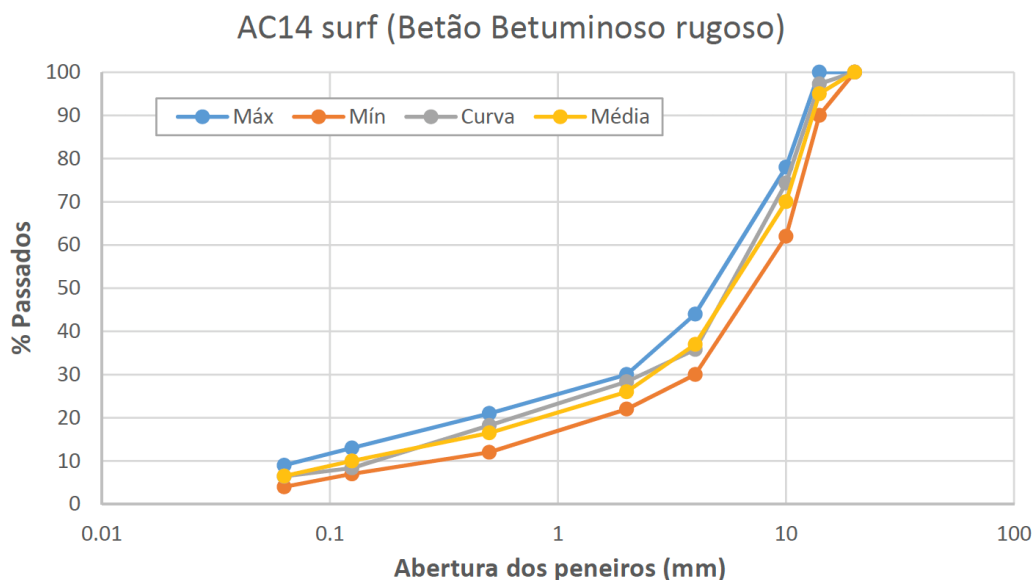
Na figura seguinte apresenta-se o ajuste da curva granulométrica obtido para uma mistura de desgaste (aplicada na camada superficial de um pavimento rodoviário) convencional (AC14 surf), vulgarmente designada por betão betuminoso, que é a mistura mais correntemente utilizada no país, e em que se considerou uma substituição de 5 % de areia natural por areia residual.



Distribuição granulométrica de agregado para uma mistura de desgaste em betão betuminoso

Efetivamente, a distribuição granulométrica das areias de fundição não permite, face ao fuso granulométrico imposto pelos cadernos de encargos da Infraestruturas de Portugal, SA, uma utilização mais alargada destes resíduos acima dos indicados 5 % em massa, por forma a que a distribuição granulométrica não saia fora dos limites dos fusos impostos.

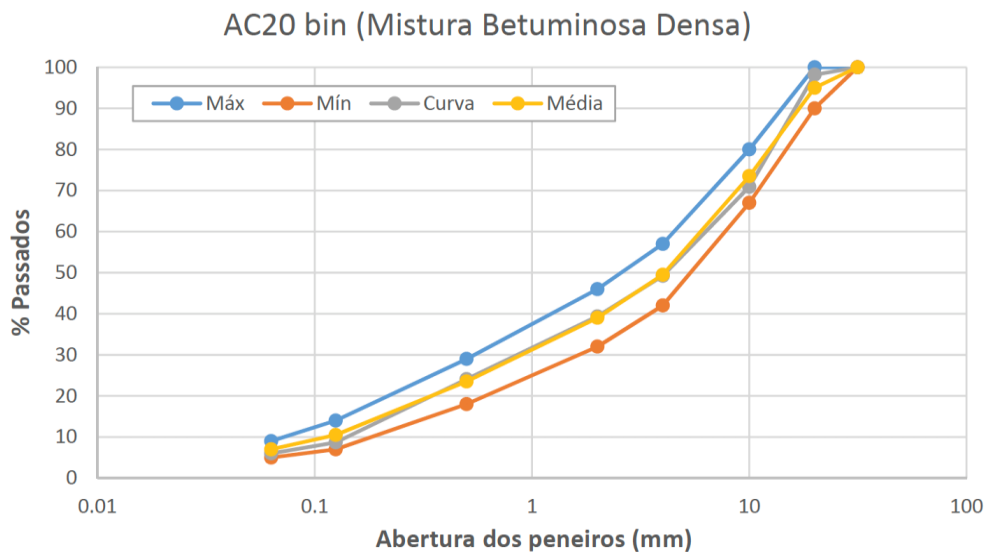
Na figura seguinte apresenta-se o ajuste da curva granulométrica para uma mistura de desgaste (AC14 surf) do tipo Betão Betuminoso Rugoso. Esta mistura tem uma utilização mais reduzida, por comparação com a mistura convencional, por utilizar um betume modificado (mais dispendioso), sendo normalmente aplicada apenas em estradas de elevado volume de tráfego. Pelo tipo de fuso especificado para esta mistura pelo caderno de encargos da Infraestruturas de Portugal, SA, neste caso consegue-se incorporar uma percentagem ligeiramente superior de areia (6%), constituindo embora ainda um valor algo limitado.



Distribuição granulométrica de agregado para uma mistura de desgaste em betão betuminoso rugoso

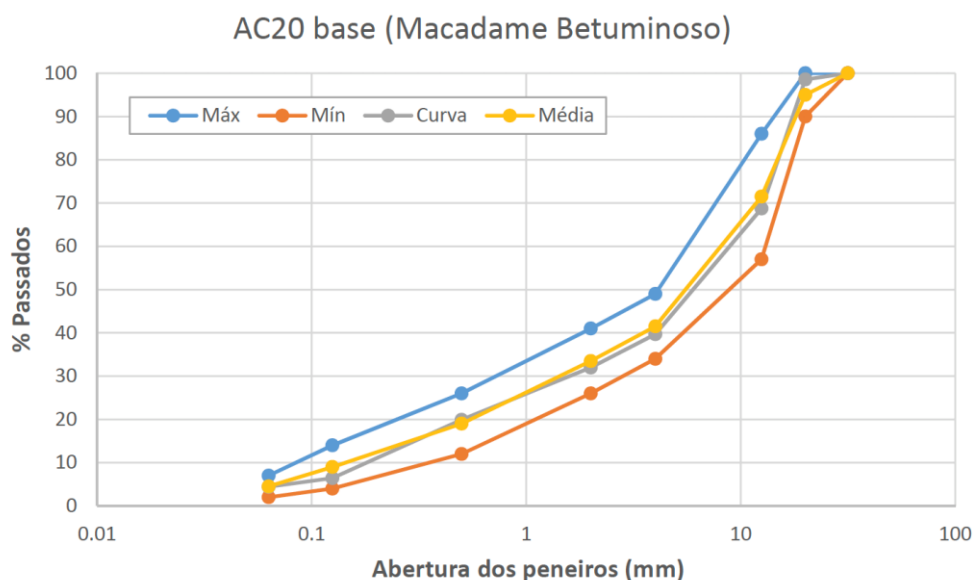
Para se conseguir aumentar a percentagem de areia a incorporar é necessário considerar misturas betuminosas que se aplicam em camadas inferiores dos pavimentos, nomeadamente em camadas de ligação ou de base, que apresentam fusos granulométricos mais abrangentes.

Na figura seguinte apresenta-se o ajuste da curva granulométrica de uma mistura a aplicar em camada de ligação (AC20 bin), vulgarmente designada por mistura betuminosa densa, que permitiu incorporar 12% de areia.



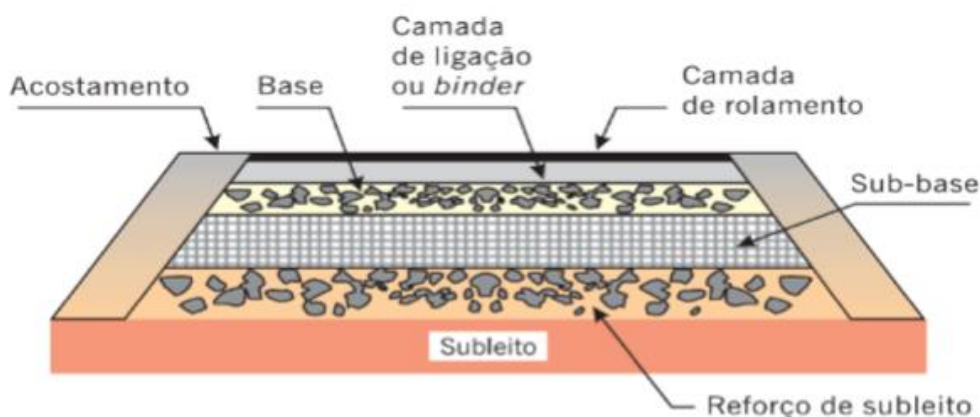
Distribuição granulométrica de agregado para uma mistura betuminosa densa

Em alternativa, a incorporação da areia pode ser realizada em camada de base (AC20 base) numa mistura designada por macadame betuminoso. Na figura seguinte apresenta-se o ajuste granulométrico obtido para uma mistura desse tipo, considerando uma incorporação de 12 % de areia.



Distribuição granulométrica de agregado para uma mistura para macadame betuminoso

Segundo Bernucci et al. (2008), os pavimentos são “*estruturas de múltiplas camadas de espessuras finitas, construídas sobre a superfície final de terraplenagem, destinadas técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a proporcionar aos utilizadores melhorias nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança*”. Assim, um pavimento flexível é um pavimento cujo material aglutinante utilizado nas camadas superiores é um composto derivado do petróleo - o betume ou o ligante betuminoso. A estrutura deste tipo de pavimento é geralmente formada por quatro camadas principais, camada de desgaste (ou de rolamento), ligação, base e sub-base, as quais podem ser aplicadas sobre o leito do pavimento (ou reforço do subleito) (Bernucci et al., 2008; INIR, 2012), como ilustrado na Figura seguinte.



Estrutura de um pavimento flexível (Bernucci et al 2008)

Para melhor avaliar o efeito da substituição de agregados naturais por areias de fundição residuais nas camadas de pavimentos betuminosos, procedeu-se à feitura de provetes que foram caracterizados em termos de resistência conservada por tração indireta e de resistência à deformação permanente, para taxas de incorporação correspondentes aos valores máximos admissíveis face aos fusos granulométricos dos cadernos de encargos da Infraestruturas de Portugal, SA.

O ensaio de resistência conservada por tração indireta (conhecido na terminologia anglo-saxónica como Indirect Tensile Strength Ratio, ITS) permite determinar a sensibilidade à água das misturas betuminosas.

Inicialmente, neste ensaio utilizam-se dois grupos de três provetes Marshall, que são escolhidos de modo a garantir o melhor equilíbrio entre a média da baridade aparente e a média das alturas de

cada grupo. Posteriormente, um dos grupos é submetido à ação da água a 40 °C, por um período 72 horas, enquanto o outro grupo é mantido a seco e à temperatura ambiente. Após esse período, a temperatura da água é reduzida para 15 °C e os provetes molhados ficam mergulhados em água durante mais 2 horas, período durante o qual os provetes secos são colocados numa câmara com temperatura controlada a 15 °C, como específica a norma EN 12697-12. Após essas 2 horas, os provetes são ensaiados por compressão diametral (tração indireta) numa prensa uniaxial, de acordo com a norma EN 12697-23, conforme ilustra a figura seguinte.



Prensa utilizada no ensaio de tração indireta

A tabela seguinte apresenta os resultados obtidos, em que o índice de resistência conservada (ITSR) é obtido dividindo o valor médio da resistência à tração indireta do grupo molhado pela resistência equivalente do grupo seco.

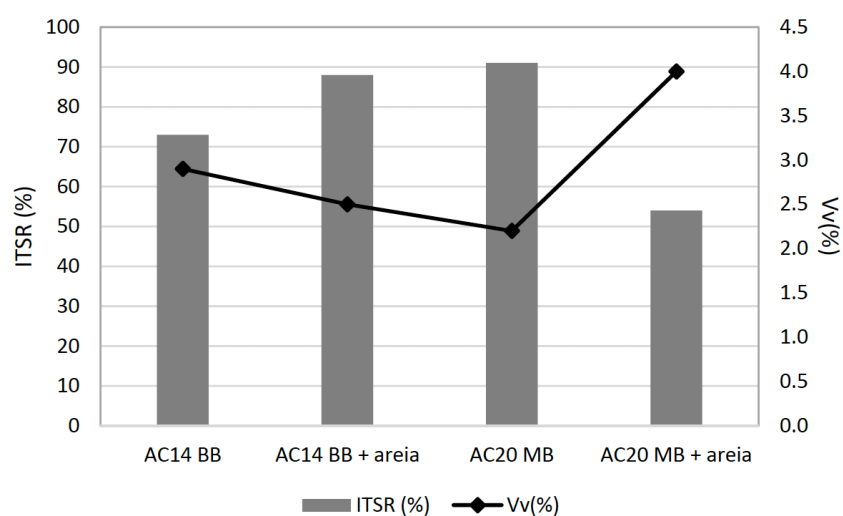
| Mistura | ITS seco (kPa) | ITS molhado (kPa) | ITSR (%) |
|-----------------------|----------------|-------------------|----------|
| AC 14 Surf BB | 2186.9 | 1590.9 | 73 |
| AC 14 Surf BB + areia | 2218.1 | 1809.3 | 88 |
| AC20 Base MB | 2052.2 | 1850.7 | 91 |
| AC20 Base MB + areia | 2175.6 | 1171.3 | 54 |

Resultados da sensibilidade à água das misturas em estudo

Com base nos resultados apresentados na Tabela acima, de um modo geral, os resultados de ITSr das misturas estudadas foram satisfatórios, com a exceção da mistura “AC20+areia” cujo resultado foi significativamente mais baixo.

Apesar de não existirem ainda valores mínimos especificados em Caderno de Encargos para esta propriedade, é prática corrente considerar que valores de ITSr superiores a 80% pressupõem um adequado comportamento das respectivas misturas.

O valor de ITSr é também significativamente influenciado pelo volume de vazios da mistura em estudo. Assim, para uma análise mais detalhada dessa propriedade, na figura seguinte apresentam-se os resultados de ITSr e de volume de vazios das misturas em estudo.



Relação ITSr vs volume de vazios

Com base na figura anterior pode observar-se que os valores de ITSr têm uma relação inversamente proporcional ao volume de vazios das misturas. O caso mais paradigmático é o da mistura AC20 MB + areia, na qual o elevado volume de vazios influenciou de forma significativa a resistência dos provetes condicionados em água, resultando num valor de ITSr muito baixo.

De modo a caracterizar a resistência à deformação permanente das misturas em estudo foi utilizado o ensaio de pista (conhecido na língua anglo-saxônica, como, wheel tracking test - WTT). Este ensaio consiste essencialmente em fazer passar repetidamente uma roda sobre uma lajeta de mistura betuminosa produzida em laboratório, medindo a evolução da profundidade da deformação ao longo do ensaio, conforme se apresenta na Figura seguinte.



Laje e equipamento do ensaio WTT

O ensaio é realizado de acordo com a norma EN 12697-22, para uma força de 700 N, com uma frequência de 0,44 Hz e sendo aplicados 10 000 ciclos de carga. Selecionou-se a temperatura de ensaio de 50 °C, por ser representativa das condições observadas nos pavimentos rodoviários portugueses em dias de Verão (quando se reúnem as condições mais desfavoráveis para o aparecimento de deformações permanentes).

Quanto aos resultados obtidos, os principais a ter em atenção são a taxa de deformação em ensaio de pista (Wheel Tracking Slope, WTS_{AIR}), a profundidade média proporcional da rodeira (Proportional Rut Depth, PRD_{AIR}) e a profundidade do cavado da rodeira (Rut Depth, RD_{AIR}), tal como se apresenta na Tabela seguinte.

| Mistura | WTS_{AIR} (mm/10 ³ ciclos) | PRD_{AIR} (%) | RD_{AIR} (mm) |
|-----------------------|--|-----------------|-----------------|
| AC 14 Surf BB | 0.235 | 12.69411 | 5.1 |
| AC 14 Surf BB + areia | 0.293 | 13.86214 | 5.525 |
| AC20 Base MB | 0.207 | 12.08757 | 4.83 |
| AC20 Base MB + areia | 0.208 | 11.95101 | 4.85 |

Resultados dos ensaios de pista

Os resultados do ensaio de pista demonstram um comportamento bastante semelhante entre as misturas estudadas do mesmo tipo. O resultado menos interessante neste ensaio é o da mistura AC14 Surf BB com areia de fundição, a qual apresenta valores de deformação ligeiramente superiores aos das restantes misturas.

Tendo em consideração os resultados apresentados neste estudo é possível extrair as seguintes conclusões:

□ Para um adequado ajuste granulométrico das misturas em estudo, a percentagem máxima de areia de fundição a incorporar foi de 5% no caso da mistura AC14 Surf BB e de 12% no caso da mistura AC20 Base MB;

□ Os resultados de sensibilidade à água das misturas demonstraram que a incorporação de uma elevada percentagem de areia de fundição pode condicionar a obtenção de uma adequada compactação (resultando num volume de vazios acima do esperado, por comparação com uma

mistura equivalente sem areia de fundição) e, conseqüentemente, num desempenho menos interessante no que diz respeito à resistência conservada após condicionamento em água;

□ No que diz respeito à resistência à deformação permanente, os resultados da incorporação de areia de fundição não parecem ter um efeito significativo no desempenho das misturas. No entanto, a mistura com o comportamento menos interessante foi a mistura AC 14 BB com incorporação de areia de fundição.

Assim, pode dizer-se que os resultados obtidos neste estudo são encorajadores, sendo possível obter misturas com incorporação de areias de fundição cujo comportamento pode ser comparado a misturas equivalentes produzidas apenas com materiais virgens. Deve-se, contudo, assinalar, que a taxa de substituição de agregado virgem deve ser sempre muito limitada, na ordem dos poucos %, atento a que a alteração da distribuição granulométrica, face aos fusos definidos, e a deterioração ligeira, mas visível por estes ensaios, de algumas das propriedades mais relevantes para o fabrico, são limitações a ter em conta.

Para avaliar as características ambientais destas misturas, uma vez que, no final do seu ciclo de vida, sejam transformadas em resíduos (código LER 17 03 02), procedeu-se à caracterização de acordo com o Decreto – Lei 183/2009, Anexo IV, Parte B, Tabela 2 e 3, de 10 de Agosto.

A caracterização incidiu sobre as duas misturas contendo areias (AC 14 Surf BB + areia e AC 20 Base MB + areia), bem como sobre uma amostra de controlo (sem qualquer incorporação de areias), para efeitos de comparação.

Obtiveram-se os seguintes resultados.

Análise química do material:

| Parâmetro | unidades | Especificação | Controlo | AC 14 + 5 % areia | AC 20 + 12% areia |
|------------------------|----------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|
| COT | mg/kg | 30 000 | 65 000 | 79 000 | 74 000 |
| BTEX | mg/kg | 6 | < 6 | < 6 | < 6 |
| PCB | mg/kg | 1 | < 0,02 | < 0,02 | < 0,02 |
| Óleo mineral C10 a C40 | mg/kg | 500 | 2 000 | 2 400 | 1 900 |
| HAP | mg/kg | 100 | < 67 | < 67 | < 67 |

Análise química do eluato:

| Parâmetro | unidades | Especificação | Controlo | AC 14 + 5 % areia | AC 20 + 12% areia |
|-----------------------|----------|---------------|----------|-------------------|-------------------|
| pH | | | 8,6 | 8,5 | 8,7 |
| Condutividade a 25 °C | mS/cm | | < 0,15 | < 0,15 | < 0,15 |
| As | mg/kg | 0,5 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Ba | mg/kg | 20 | 0,14 | 0,76 | 0,01 |
| Cd | mg/kg | 0,04 | < 0,04 | < 0,04 | < 0,04 |
| Cr | mg/kg | 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 |
| Cu | mg/kg | 2 | < 0,25 | < 0,25 | < 0,25 |
| Hg | mg/kg | 0,01 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 |
| Mo | mg/kg | 0,5 | < 0,02 | < 0,02 | < 0,02 |
| Ni | mg/kg | 0,4 | < 0,3 | < 0,3 | < 0,3 |
| Pb | mg/kg | 0,5 | < 0,3 | < 0,3 | < 0,3 |
| Sb | mg/kg | 0,06 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 |
| Se | mg/kg | 0,1 | < 0,01 | < 0,01 | < 0,01 |
| Zn | mg/kg | 4 | 0,39 | 0,46 | 0,21 |
| Cloreto | mg/kg | 800 | 10 | < 10 | 20 |
| Fluoreto | mg/kg | 10 | < 0,5 | < 0,5 | 1,8 |
| Sulfato | mg/kg | 1 000 | < 100 | < 100 | 160 |
| Índice de fenol | mg/kg | 1 | 0,2 | 0,5 | 0,5 |
| COD | mg/kg | 500 | 100 | 140 | 130 |
| SDT | mg/kg | 4 000 | 1 200 | 1 500 | 1800 |

Estes resultados permitem concluir que todas as amostras, incluindo a de controlo, não são suscetíveis de ser depositadas em aterro para resíduos inertes. Efetivamente, os teores de carbono orgânico total e de óleos minerais excedem os limites legalmente definidos. Tal deve-se à própria natureza do material, com forte teor de compostos betuminosos.

Contudo, não é perceptível qualquer correlação entre a presença das areias residuais nas amostras e os efeitos potenciais adversos em termos de meio ambiente. É de realçar mesmo que, em termos

de parâmetros analisados no eluato do ensaio de lixiviação, todos os parâmetros se encontram abaixo dos limiares definidos, não sendo visível qualquer agravamento que possa ser atribuível à presença dos resíduos.

Como conclusão deste estudo, pode-se referir que existe um potencial de escoamento das areias de fundição na formulação de misturas betuminosas a quente, embora sempre limitado a percentagens de substituição dos materiais virgens muito moderadas. Contudo, não existindo efeitos ambientais adversos, e atento à grande quantidade de materiais deste tipo que a construção rodoviária implica, parece-nos ser uma opção perfeitamente viável para a utilização dos resíduos em estudo.

6. Compilação de resultados de estudos anteriores realizados a pedido da Associação Portuguesa de Fundição

O primeiro estudo promovido pela Associação Portuguesa de Fundição realizou-se em 1999, com a colaboração da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, TecMinho, Idite-Minho, Cinfu e TQ, SA. O estudo, designado “*Valorização dos Resíduos Industriais do Sector de Fundição*”, visou fazer uma caracterização completa de diversas amostras de resíduos produzidos pelo setor da fundição, quer no subsetor dos ferrosos quer no dos não—ferrosos. A caracterização visou igualmente avaliar a componente de perigosidade ambiental dos resíduos da fundição em Portugal, coisa que à data era desconhecido e preocupava o setor, face às opções de gestão que então se afiguravam viáveis. Esta foi a primeira vez que se fez uma abordagem sistemática aos resíduos de fundição gerados em Portugal, avaliando-se as suas características e tentando apontar-se vias possíveis para a sua valorização.

O estudo de 1999 incluiu, por isso, uma componente de investigação científica aplicada, procurando avaliar o comportamento dos resíduos de fundição, principalmente das areias, com vista à sua incorporação na fabricação de betões e de materiais por aglomeração a alta temperatura.

Na associação entre areias e cimento, verificou-se uma forte deterioração das propriedades mecânicas dos materiais, correspondendo a um mau poder ligante, o que se explica pelo elevado teor de carbono das areias verdes, elemento este que, envolvendo as partículas de quartzo ou dos outros materiais granulares da areia, provoca uma fraca adesão com o cimento. Pelo que se concluiu ser fortemente limitada a possibilidade de incorporar areias de fundição na feitura de produtos com cimento, por questões essencialmente técnicas e de qualidade dos produtos finais.

No caso da fabricação de produtos por aglomeração a quente, os estudos, embora ainda algo preliminares, permitiram desde logo apontar para o potencial existente, obtendo-se produtos com elevada resistência após sinterização. O processo, contudo, embora promissor, é fortemente consumidor de energia, e o estudo não apontou para a fabricação de produtos específicos dirigidos ao mercado, pelo que não foi, a este respeito, suficientemente conclusivo.

Como principais resultados deste estudo de 1999 aponta-se a conclusão de que a maior parte dos resíduos gerados no setor da fundição devem ser classificados como não perigosos, face aos critérios da altura, sendo evidente o potencial de utilização das areias de fundição na feitura de produtos, especialmente se por processamento a quente. Uma vez que os critérios ambientais se mantêm hoje similares aos da época, considera-se que a conclusão quanto à perigosidade dos resíduos se mantém, no geral, válida.

Em 2005, a Associação Portuguesa de Fundição encomendou ao CVR – Centro para a Valorização de Resíduos, no âmbito do projeto designado “*Estratégia de Desenvolvimento do Setor de Fundição*”, atividade 1 “*Ambiente*”, componente de Valorização Externa de Resíduos, um estudo técnico com vista a aprofundar a avaliação feita em 1999 no que se refere à incorporação em misturas betuminosas. O estudo visou avaliar de forma mais profunda do que havia sido feito em 1999, a incorporação de diversos resíduos de fundição em misturas betuminosas. Os resíduos considerados foram as escórias de forno, as areias verdes, as areias de machos, os finos de grenalhagem e os refratários usados. Os resíduos substituíram a parte fina do agregado natural em 5, 10, 15 e 20 %, avaliando-se diversas propriedades do material betuminoso assim produzido. No caso dos refratários usados, a substituição incidiu sobre o filler, em percentagens de 25, 50, 75 e 100 %.

Nos casos das escórias de forno, areias verdes, areias de machos e finos de grenalhagem, constata-se a possibilidade de substituir até 20 % a parte fina do agregado natural, embora se verifique sempre um abaixamento, não muito significativo nem crítico, da deformação Marshall para as maiores taxas de substituição. No caso dos refratários usados, constatou-se a possibilidade de substituir integralmente o filler natural, sem qualquer efeito nocivo para as propriedades do produto betuminoso.

Neste estudo foram ainda avaliados os produtos incorporando resíduos, numa perspetiva ambiental, mediante teste de lixiviação normalizado, seguido de análise dos eluatos para alguns parâmetros que se admitiam como eventualmente críticos. Esta avaliação permitiu concluir que os produtos incorporando resíduos apresentam características ambientais similares aos produtos isentos de resíduos, levando a concluir que, para as percentagens de incorporação testadas, não existe impacto ambiental negativo que seja expeável. Apesar de, no caso da incorporação das areias se verificar um aumento do teor de fenóis lixiviados, esse valor situa-se ainda bem abaixo dos limiares aceitáveis para efeitos de deposição em aterro. O estudo na altura realizado, não incluiu, contudo, todos os parâmetros atualmente exigidos por Lei, nomeadamente para efeitos de deposição em aterro para resíduos inertes, sendo que para o parâmetro do índice de fenol, todos os materiais cumpriram o que se encontra atualmente especificado.

Os estudos realizados a pedido da Associação Portuguesa de Fundição, em 1999 e em 2005, permitiram, por isso, concluir, com algum grau de segurança, que a via de incorporação de resíduos de fundição, em particular das areias, em misturas betuminosas constitui uma prática aceitável dos pontos de vista técnico e ambiental. Deve-se salvaguardar, contudo, o respeito pelas curvas granulométricas definidas em sede de cadernos de encargos, que permitam obter, de forma consolidada, resultados técnicos adequados.

Os resultados atuais, obtidos no presente estudo realizado em 2017, visaram afinar estas conclusões de 2005, limitando a incorporação nas misturas betuminosas a 12 %, de acordo com o tipo de aplicação da mistura betuminosa. Esta situação, embora representando valores de incorporação inferiores aos

testados em 2005, parece sensata e adequada à situação nacional e às condições técnicas do mercado, atento aos quantitativos de resíduos existente e ao volume de obras rodoviárias.

Quanto à incorporação em betões, os estudos levaram a concluir sobre o fraco potencial existente. No entanto, estudos mais recentes, levados a cabo na Universidade do Minho, apontam para o potencial de incorporação das escórias de forno, após devido tratamento mecânico. No caso das areias, a substituição dos agregados naturais está fortemente limitada pelo efeito nefasto sobre as propriedades mecânicas dos betões. A incorporação na fabricação de clínquer havia sido estudada na primeira década de 2000, com o apoio da TecMinho e do CVR, estando demonstrada a sua viabilidade, e constituindo já uma prática corrente, limitada contudo, por questões económicas relacionadas com o transporte dos resíduos, face à situação geográfica das fábricas cimenteiras (apenas nas zonas centro e sul do País).

Quanto à incorporação em materiais cerâmicos de barro vermelho, estudos da TecMinho, no âmbito de projetos de investigação internacionais da última década do século XX, apontavam para o elevado potencial de incorporação de vários resíduos de fundição, com particular realce para as areias e finos. O estudo atual veio comprovar e confirmar esta viabilidade técnica e a sua adequação com as exigências ambientais em vigor.

7. Memória técnica

Na proposta para a realização do presente estudo, apresentada formalmente pelo CVR à Associação Portuguesa de Fundição em 2015, considerava-se a preparação de uma memória técnica a submeter à Agência Portuguesa do Ambiente, com vista à obtenção do estatuto de fim de resíduo para as areias verdes e areias de machos de fundição.

A publicação do decreto-lei nº 75/2015 de 11 de maio, que aprova o Regime de Licenciamento Único de Ambiente, conjugado com o disposto no decreto-lei nº 73/2015 de 11 de maio, que aprova o Sistema da Indústria Responsável, alterou, contudo, as condições práticas em que o modelo de valorização dos resíduos pode assentar. Efetivamente, a possibilidade aberta por aqueles diplomas de permitir que qualquer industrial introduza, no seu processo, resíduos industriais, salvaguardando os aspetos ambientais e de qualidade aplicáveis, e apenas necessitando de sujeição a licenciamento industrial, vem facilitar grandemente o procedimento.

Após reunião realizada em junho de 2017 com técnicos da Agência Portuguesa do Ambiente, ficou consolidada e melhor percebida a nova possibilidade aberta com a legislação de 2015. A qual importa, por isso, avaliar, em termos de vantagens e inconvenientes, face às alternativas anteriores.

Os procedimentos baseados na desclassificação das areias (estatuto de fim de resíduo ou declaração de subproduto), apresentam, na nossa opinião, as seguintes vantagens:

- o resíduo não é mais considerado como tal, deixando de estar sujeito a toda a carga administrativa que atualmente incide e fortemente limita a valorização de resíduos: guias de acompanhamento de resíduos, necessidade de licenciamento para a sua gestão, registos de quantidades, necessidades de caracterizações regulares, etc.;
- o material passa a poder ser transportado como qualquer matéria prima normal;
- qualquer indústria interessada em receber o material, agora não resíduo, pode fazê-lo sem qualquer limitação de ordem legal ou administrativa, abrindo efetivamente oportunidades comerciais mais interessantes, quer para o produtor do resíduo quer para o utilizador, facilitando a economia circular através da valorização dos resíduos.

Apresentam, contudo, os seguintes inconvenientes:

- necessidade de apresentação de um processo conducente à sua avaliação pelas autoridades competentes, cujos limites de complexidade não nos parecem claros;
- a variabilidade de condições dos resíduos, bem como das tipologias de aplicações técnicas, podem dificultar a aprovação desse processo, pelo menos com a desejável abrangência que justificaria a sua implementação;
- custos administrativos (taxas) elevados para a submissão do processo;
- incerteza quanto à aprovação do procedimento;
- necessidade de, mesmo após obtenção do estatuto de fim de resíduo ou de subproduto, se ter de trabalhar o potencial mercado utilizador dos resíduos, não sendo claro que a situação económica relativa à gestão dos materiais, agora não resíduos, se altere significativamente face à situação atual.

O procedimento através da inclusão, em sede de licenciamento industrial, das operações de valorização de resíduos em substituição de matérias primas naturais, apresenta, na nossa opinião, as seguintes vantagens:

- é um procedimento simples, pois o industrial utilizador do resíduo apenas tem de declarar, no seu processo de licenciamento junto do IAPMEI, que pretende utilizar determinados tipos de resíduos, informando sobre os procedimentos de segurança, armazenamento, manuseamento e processamento aplicáveis. Nada que difira, por isso, do aplicável a qualquer outra matéria-prima utilizada pelo industrial;
- pode ser aplicado em qualquer local geográfico;
- abrem-se efetivamente oportunidades comerciais mais interessantes, quer para o produtor do resíduo quer para o utilizador, facilitando a economia circular através da valorização dos resíduos;
- processo com custos administrativos (taxas) pouco relevantes;
- forte probabilidade de aceitação do procedimento, só se esperando dificuldades no caso da valorização de resíduos perigosos ou que envolvam riscos acrescidos face às matérias primas naturais, o que não será o caso dos resíduos do setor da fundição em apreço no presente estudo.

Os inconvenientes que podem ser identificados são:

- o material continua a ser tratado como resíduo, tal implicando a carga administrativa associada. Ou seja, o material tem de ser transportado com guia de acompanhamento de resíduos, o transporte tem de ser feito ou pelo produtor ou por entidade registada para o transporte de resíduos, os quantitativos de resíduos utilizados têm de ser registados pelo utilizador, a fim de ser reportados anualmente;
- continua a ser necessário algum trabalho de carácter comercial para “convencer” os potenciais utilizadores a receber os resíduos e fazer as devidas alterações ao seu processo de licenciamento industrial;

Fazendo um balanço das vantagens e inconvenientes das duas alternativas, somos de opinião de que o procedimento utilizando a legislação do licenciamento industrial e ambiental é de efetividade mais rápida, mais fácil e mais garantida. A necessidade de se efetuar um trabalho ao nível comercial para “convencer” potenciais utilizadores é apenas um pouco superior ao caso do fim do estatuto de resíduo, uma vez que as principais limitações serão sempre de ordem técnica e eventualmente ambiental e atento a que o procedimento de atualização de licença industrial é hoje um processo algo simplificado e rápido. Por outro lado, a carga administrativa associada à gestão de resíduos está hoje razoavelmente reduzida. A introdução das guias eletrónicas de acompanhamento de resíduos e as implicações de simplificação que tal pode representar num futuro próximo, com a geração automática de mapas anuais, torna o procedimento similar ao adotado para qualquer outra mercadoria, ou seja, nada de muito mais complexo do que aquilo com que as empresas industriais estão já habituadas a lidar no dia a dia. O fato de o industrial tomador do resíduo não se ter de licenciar como operador de resíduos, ao contrário do que sucedia antes de 2015, vem, efetivamente retirar uma carga burocrática e custos que facilitam fortemente o processo.

Somos, por isso, de opinião de que, no contexto atual, se não justifica a Associação Portuguesa de Fundição apresentar processo para a obtenção do fim de estatuto de resíduo ou para obtenção de declaração de subproduto, processos complexos, de desfecho incerto, dispendiosos, expectavelmente demorados e previsivelmente pouco eficazes em termos práticos e de mercado.

Somos, por isso, de opinião, de que o mecanismo mais imediato e prático a seguir será o de identificar empresas potencialmente interessadas em receber resíduos de fundição para utilizar como matéria-prima nos seus processos industriais, convencê-las e ajudá-las a alterar o seu licenciamento industrial para receber esses resíduos. Dando corpo, por esta forma, a um verdadeiro e genuíno processo de valorização de resíduos, num contexto de economia circular, com vantagens para todas as partes e também para a sociedade, meio ambiente e sustentabilidade em geral.

Desde já se identificam os seguintes tipos de empresas potencialmente recetoras dos resíduos de fundição e particularmente das areias:

- sector da construção rodoviária, constituído por algumas dezenas de empresas, geograficamente dispersas pelo território nacional e forte consumidora de matérias-primas naturais. São empresas habituadas a práticas de garantia de qualidade e de preservação do ambiente, pelo que a adequação aos requisitos administrativos associados à utilização dos resíduos não deve apresentar particular dificuldade. Por outro lado, são empresas dotadas de laboratórios, o que potencia o desenvolvimento de formulações adequadas a cada resíduo em concreto e face às necessidades de qualidade intrínsecas aos produtos. É forte o potencial de escoamento de resíduos de fundição por parte destas empresas. Há que considerar e esclarecer a questão do transporte dos resíduos entre o local de receção e as obras, uma vez que as instalações não são fixas, dada a natureza da atividade;
- setor da fabricação de produtos em cerâmica de barro vermelho (telhas, tijolos, abobadilhas). Constituído por empresas geograficamente dispersas no território nacional, embora com predominância nos distritos de Aveiro, Coimbra, Leiria e Lisboa, sendo poucas as empresas localizadas no Norte de Portugal. São empresas habituadas ao manuseamento de matérias primas em quantidades elevadas, carecendo de efetuar misturas de diversos materiais, pelo que é previsível que a incorporação de resíduos não apresente particulares dificuldades técnicas. Algumas empresas, de menor dimensão, poderão apresentar alguma resistência, mais de origem psicológica, havendo trabalho comercial e de sensibilização que deve ser empreendido;
- setor da fabricação de artefactos em betão, gesso e similares. Constituído por empresas geograficamente dispersas no território nacional, as questões de natureza técnica associada à influência das areias nas propriedades mecânicas dos produtos limitam fortemente a percentagem de incorporação. Contudo, não é de excluir este setor, dada a sua forte

diversidade, em termos geográficos e de tipos de produtos, a elevada quantidade de matérias-primas empregues, abrindo oportunidades de valorização que podem ser relevantes.

Os estudos agora realizados, complementando estudos anteriores promovidos pela Associação Portuguesa de Fundição e outros da iniciativa de empresas e de instituições de ciência e tecnologia, vêm comprovar o potencial de utilização das areias de fundição como substitutos de areias e agregados naturais, na produção de misturas betuminosas e produtos cerâmicos. Definindo condições técnicas adequadas à incorporação dos resíduos. Que, contudo, variarão de resíduo para resíduo, de produto para produto, carecendo de alguma validação adicional, caso a caso, ou que se trabalhe com taxas de incorporação muito abaixo dos limites agora testados.

Por fim, convém referir que toda esta prática, que se revela essencial para o desempenho ambiental das empresas de fundição, e das potenciais parceiras tomadoras dos resíduos também, muito beneficiaria do empenho do Estado, enquanto entidade responsável pela implementação de políticas. Nomeadamente cumprindo princípios básicos de gestão ambiental sustentável como é a utilização de materiais reciclados e resíduos nas obras que o próprio Estado promove. Efetivamente, no que toca à construção rodoviária, o Estado é o principal promotor. Pelo que, caso se imponha a si próprio obrigações de utilização de materiais secundários nas obras, o que fará em sede de cadernos de encargos, o Estado estará a induzir o escoamento de resíduos que atualmente são desperdiçados. Na construção civil em geral, através das obras públicas, o Estado consome indiretamente também quantidades muito elevadas de materiais, como betões e cerâmicos. Ora, se o Estado exigir que os produtos utilizados tenham, na sua feitura, incorporada uma determinada quantidade de resíduos, tal não só permitirá valorizar resíduos, como facilitará o processo de aceitação por parte dos fabricantes cerâmicos e de artefactos em betão em aderir às possibilidades abertas com a legislação do licenciamento industrial de 2015. Neste contexto, na nossa opinião, há todo um trabalho de sensibilização dos intervenientes do Estado, nomeadamente Ministérios do Ambiente e da Economia, bem como autarquias locais, que importa fazer, a bem da sustentabilidade ambiental das empresas, em particular das do sector de fundição.

Sugere-se, por isso, como última recomendação deste estudo, que a Associação Portuguesa de Fundição estabeleça ações de sensibilização do setor, de empresas de setores potencialmente tomadoras dos seus resíduos e das entidades públicas, no sentido de se avançar, de forma decidida, para práticas de Economia Circular tão importantes para as empresas, a economia e o ambiente.

Nota final: Este estudo teve a colaboração de diversas entidades e pessoas que importa aqui referir, e a quem se exprime o devido agradecimento pelo apoio prestado:

- as empresas de fundição que forneceram amostras de resíduos, no estudo identificadas, e várias outras que facultaram dados quantitativos quanto aos resíduos gerados;

- o Professor Joel Oliveira, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, que coordenou a realização dos ensaios em misturas betuminosas realizados pelo Eng^o Lucas Nascimento;
- o técnico Miguel Abreu, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, que colaborou na caracterização de amostras de resíduos, em particular nos ensaios químicos;
- a Eng^a Susana Silva e o lic. Tiago Teixeira, ambos da W2V, SA que apoiaram na realização de caracterizações de resíduos e no estudo de incorporação em cerâmicos;
- a Eng^a Irene Morais, do CVR, que colaborou na realização dos ensaios ambientais sobre as misturas contendo resíduos.

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



Associação
Portuguesa de
Fundação