

Utilização e Valorização de Resíduos de Areias de Leito Fluidizado e de Lamas de Corte de Pedra em Argamassas. Exemplos de Aplicação.

Luis Silva

Saint Gobain Weber, luis.silva@weber-cimenfix.com

Regina Modolo

Universidade de Aveiro, regina.modolo@ua.com

Victor M. Ferreira

Universidade de Aveiro, victorf@civil.ua.pt

J.A. Labrincha

Universidade de Aveiro, jal@cv.ua.pt

Pedro Sequeira

Saint Gobain Weber, pedro.sequeira@weber-cimenfix.com

Resumo: Considerando o elevado número e tipo de matérias-primas que compõem as argamassas industriais, entende-se que estas se apresentam como potenciais utilizadores de materiais reciclados. Com efeito, uma pesquisa bibliográfica revela um elevado conjunto de trabalhos já realizados, a nível académico, que demonstram a possível compatibilidade, embora se reconheça um conjunto de dificuldades, de ordem técnica e logística, na sua implementação ao nível industrial. O trabalho em questão apresenta a experiência de casos de estudo de utilização e valorização de materiais reciclados, avalia e sugere acções para a sua viabilização económica.

Palavras-chave: Argamassas industriais; utilização de materiais reciclados; resíduos.

1. INTRODUÇÃO

Considerando uma produção anual superior a 1 milhão de toneladas de argamassas pré-doseadas em Portugal, facilmente se conclui sobre a potencialidade desta actividade na contribuição para uma redução dos resíduos existentes pela inclusão de diversos tipos de resíduos provenientes das mais variadas actividades [1]. Mais do que uma possibilidade ou uma intenção, as argamassas industriais, dada a sua abrangência de utilização, podem constituir-se como potenciais receptoras de resíduos como agregados reciclados, *fillers* provenientes de cortes de pedra, ou até de aditivos resultantes de subprodutos de outras indústrias. Como exemplo, considere-se o di-formato de cálcio, um subproduto da indústria automóvel, que se tem apresentado, nas últimas décadas, como um dos mais utilizados aceleradores de presa da indústria derivada de produtos de cimento, inclusive com vantagens técnicas relativamente aos aceleradores mais convencionais como sais [2-5]. Entre os principais motivos para esta potencialidade, está a garantia de constância de propriedades das argamassas ao utilizador, suportada pela pesquisa técnica que a maioria dos fabricantes pode realizar ou promover no sentido de garantir não só a componente técnica, mas também assegurar a recolha e utilização legal dos resíduos.

Porém, tal grau de estabilidade e sucesso só pode ser obtido se forem atingidos níveis de compromisso elevados entre os utilizadores e os fornecedores de resíduos. Adicionalmente, espera-se que as entidades oficiais responsáveis pela legalização dos processos possam apresentar maior celeridade dos mesmos ou, especialmente, nas fases de estudo, possam criar mecanismos mais eficientes e menos burocráticos no sentido de permitir a obtenção de resultados mais rápidos. O assunto, pela óbvia importância que acarreta, merece ainda um conjunto de acções de sensibilização e debate mais focadas nos processos envolvidos. Ao contrário, continuar-se-á a assistir a um conjunto de trabalhos de apresentação de estudos académicos sem a consequente mais valia económica e ambiental associada em caso de aplicação real.

Considerando as indústrias papelarias como um sector estratégico da economia nacional, nota-se que geram vários tipos de resíduos dos quais se destacam, para a indústria de argamassas, as areias de leito fluidizado das caldeiras de biomassa já que, uma vez tratadas, podem constituir uma fonte de agregados para as argamassas [6].

Outro exemplo de fontes de agregados, neste caso, de finos, surge dos processos de corte, serragem e acabamento de pedra de granito que origina lamas que podem ser secas e transformar-se numa fonte de partículas finas para argamassas [7].

Os dois casos apresentados surgem num contexto de fundamental importância quando se considera a escassez dos agregados naturais. Por exemplo, na União Europeia, o consumo de agregados é de aproximadamente 8 toneladas/habitante/ano (apenas ultrapassado pelo consumo de água!) com consequentes impactos ao nível paisagístico o que, considerando que se tratam de recursos não renováveis, geram evidentes preocupações ao nível ambiental. Por isso, a sua reutilização a partir dos casos anteriores ou, inclusive de resíduos de construção, constitui uma clara minimização dos impactos negativos indicados.

Finalmente, considerando um último exemplo, notem-se as lamas de filtração e purificação de água, cujos resultados já publicados referem a potencialidade de utilização destes materiais como agentes reológicos para argamassas e, se combinados com aditivos específicos, poderem contribuir para a regulação do tempo de presa de argamassas monocamada [8].

O trabalho em questão aborda o estudo experimental realizado para os dois casos de potenciais agregados e apresentar reflexões ao processo de possível utilização dos mesmos na economia real para os casos mencionados.

2. ENSAIOS REALIZADOS

2.1 Lista de Ensaios

O trabalho experimental foi realizado em duas fases. A primeira fase implicou a avaliação, escolha e preparação dos resíduos a utilizar em função da sua potencialidade.

Assim, para o caso das areias de leito fluidizado e das lamas de granito, tem-se:

1. Estudo da distribuição de partículas [9].
2. Avaliação do teor de sais (cloretos, sulfatos, nitritos e nitratos) [10].
3. Avaliação do teor de matéria orgânica [10].
4. Avaliação do teor de humidade [10].

A segunda fase refere-se ao estudo de incorporação dos resíduos nas argamassas.

No caso das areias de leito fluidizado, a sua incorporação foi numa argamassa-cola, classe C2, numa proporção de 12% em massa e numa argamassa de reboco (classe CS III), numa proporção de 15% em massa. Nos dois casos, a função da adição do material pretende a

correção da curva granulométrica em partículas de dimensão entre 0,5mm e 1,25mm. Os ensaios de caracterização das argamassas são os indicados pelas normas EN 1348 e EN 998-1, respectivamente para argamassas-cola e argamassas de reboco.

Para as lamas de granito, fez-se a adição do material em análise a uma argamassa-cola, classe C1, em várias percentagens em massa e avaliou-se as propriedades resultantes da argamassa obtida. As adições estudadas foram de 0%; 2,5%; 7,5% e 15%.

2.2. Preparação de Argamassas

As amostras foram preparadas de acordo com as indicações de amassadura e de cura indicadas pela EN 196-1:1994 e EN 12002:2002 ou EN 998-1 e EN1015, respectivamente, para argamassas-cola ou de reboco.

3. RESULTADOS

3.1. Utilização de Areias de Leito Fluidizado

3.1.1 Caracterização Laboratorial da Areia de Leito Fluidizado

A tabela 1 apresenta o material retido, após o ensaio de separação de partículas do material recolhido em bruto, directamente do estaleiro da indústria de papel. Face aos resultados obtidos, nota-se um excesso de partículas sem interesse acima de 1,25mm, pelo que se realizou nova análise após eliminação dos resíduos desta dimensão com consequente resultado indicado na tabela 2. Finalmente, a tabela 3 apresenta os resultados dos restantes ensaios de caracterização e avaliação da areia.

Tabela 1. Distribuição de partículas para o material recolhido em bruto

Malha (μm)	Material retido (%)	Descrição
1250	9,6	Resíduos (sem interesse)
630	74,9	---
315	12,0	---
160	1,9	---
80	0,7	---
<80	0,8	---

Tabela 2. Distribuição de partículas para o material recolhido, após eliminação de resíduos acima de 1,250mm

Malha (μm)	Material retido (%)	Limites ⁽¹⁾
1250	0,1	0,0-3,0
630	78,0	50,0-75,0
315	15,1	15,0-35,0
160	4,0	0,0-8,0
80	1,5	0,0-2,0
<80	1,0	0,0-1,0

⁽¹⁾ Impostos por normas ou requisito interno.

Tabela 3. Resultados relativos aos ensaios de determinação de sais solúveis, e avaliação do teor de matéria orgânica e de água.

Propriedade		Resultado	Limites ⁽¹⁾
Análise de sais	Sulfatos (%)	Ausente	---
	Cloretos	Presença significativa	<0,15 (na argamassa)
	Nitritos	Vestígios	---
	Nitratos	Ausente	---
Teor matéria perdida (%)			
	100°C	<0,10	<0,10
	500°C	0,10	<0,50
	900°C	1,25	<2,50
Cor		Castanho	Limitado a produtos cinza

⁽¹⁾ Impostos por normas ou requisito interno

3.1.2 Utilização e Caracterização de Argamassas com Incorporação de Areias de Leito Fluidizado

A aplicação em argamassas correspondeu sempre a utilização de um material (areia) previamente “tratado”, com os seguintes processos:

- 1) Processo de peneiração para remoção dos resíduos acima de 1250µm;
- 2) Lavagem do material com água destilada para remoção de sais solúveis e secagem a 100°C (até grau de humidade inferior a 0,10%).

As tabelas 4 e 5 apresentam os resultados relativos à incorporação do resíduo tratado em argamassa-cola e de reboco, respectivamente.

Tabela 4. Resultados relativos à incorporação do resíduo tratado em argamassa-cola.

Propriedade	Resultado	Limites ⁽¹⁾
Distribuição de partículas (%)		
1250 µm	0,0	0,0-1,0
630 µm	12,2	5,0-15,0
315 µm	15,2	10,0-25,0
160 µm	20,0	15,0-30,0
80 µm	5,2	2,0-15,0
< 80 µm	46,9	40,0-55,0
Densidade do material em pó	1,20	1,20-1,30
Rácio água/cimento	0,60	0,60-0,70
Densidade da pasta	1,46	1,40-1,50
Retenção de água (%)	98,12	>95,0
Resistência ao deslizamento (mm)	0,0	<0,5
Tempo de presa (min)	360	420-540
Aderência (EN12004) (N/mm²)		
Inicial	1,80	>1,0
Imersão em água	0,80	>1,0
Envelhecimento por calor	1,92	>1,0
Tempo aberto (30')	0,89	>0,5

⁽¹⁾ Impostos por normas ou requisito interno

Tabela 5. Resultados relativos à incorporação do resíduo tratado em reboco

Propriedade	Resultado	Limites ⁽¹⁾
Distribuição de partículas (%)		
1250 μm	0,10	0,0-1,0
630 μm	15,9	9,0-17,0
315 μm	22,8	16,0-43,0
160 μm	25,8	12,0-35,0
80 μm	10,8	2,0-15,0
< 80 μm	24,3	23,0-33,0
Rácio água/cimento	1,2	1,1-1,2
Densidade da pasta	1,78	1,65-1,80
Tempo de presa (min)	250	300-450
Aderência (N/mm ²)	0,32	>0,30
R _{flexão} (MPa)	2,85	>2,5
R _{compressão} (MPa)	7,5	>5,0
Módulo elasticidade (MPa)	13500	<12500
Coef. capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	0,85	<1,00

⁽¹⁾ Impostos por normas ou requisito interno

3.1.3 Utilização e Caracterização de Argamassas com Incorporação de Areias de Leito Fluidizado em Escala Industrial

As tabelas 6 e 7 apresentam os resultados de areia recolhida e tratada a nível industrial que foi, posteriormente, inserida em linha de produção da argamassa-cola C2.

Tabela 6. Resultados relativos aos ensaios de determinação de sais solúveis e distribuição de partículas para o material recolhido e tratado industrialmente.

Propriedade	Resultado	
Material retido (%)	1250 (μm)	0,9
	630 (μm)	58,3
	315 (μm)	27,6
	160 (μm)	12,4
	80 (μm)	1,1
	<80 (μm)	0,3
Análise de sais	Sulfatos	Vestígios
	Cloretos	Vestígios
	Nitritos	Ausência
	Nitratos	Ausência

Tabela 7. Avaliação da argamassa C2S, produzida à escala industrial com incorporação das areias de leito fluidizado tratadas.

Propriedade	Resultado	Limites ⁽¹⁾
Rácio água/cimento	0,6	0,60-0,70
Tempo de presa (min)	580	420-540
Aderência inicial (N/mm ²)	1,75	>1,0
Avaliação trabalhabilidade	Similar a padrão	Júri de aplicação

⁽¹⁾ Impostos por normas ou requisito interno

O estado actual do processo implica a autorização ou licenciamento pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR), processo em conclusão mas com prazo, desde a entrada até à sua finalização, superior a 2 anos o que pode representar, em termos de dinâmica de mercado, um tempo demasiado longo uma vez que o tempo de vida de alguns produtos corresponde a esse intervalo.

3.2. Utilização de Lamas de Corte de Pedra de Granito

O material escolhido, apresentado pela empresa produtora, inserido em argamassas-cola, apresenta as propriedades indicadas na tabela 8. Por outro lado, a tabela 9 reflecte os resultados relativos à incorporação numa argamassa-cola.

Tabela 8. Resultados relativos aos ensaios de determinação de sais solúveis, e avaliação do teor de matéria orgânica e de água.

Propriedade		Resultado	Limites ⁽¹⁾
Análise de sais	Sulfatos (%)	Ausente	---
	Cloretos	Ausente	<0,15 na argamassa
	Nitritos	Ausente	---
	Nitratos	Ausente	---
Teor matéria perdida (%)			
	100°C	<0,10	<0,10
	500°C	<0,10	<0,50
	900°C	0,85	<2,50
Cor		Bege	Sem limitações

⁽¹⁾ Impostos por normas ou requisito interno

Tabela 9. Apresentação de resultados relativamente à argamassa-cola com várias percentagens de pó de pedra.

% Adicionada	0	2,5	7,5	15
H ₂ O (%)	22,5	23,0	24,0	25,5
MVA _{pasta} (g/ml)	1,50	1,53	1,56	1,58
Retenção H ₂ O (%)	97,17	97,21	97,69	---
Deslizamento (mm)	1,0	1,0	1,0	0,5
Comentários	Referência	Melhor que ref.; mais goma e suave	Melhor que ref.; mais goma e suave	Muito suave mas tendência a ganhar película
Tempo aberto				
Aderência (N/mm ²)				
Inicial	0,60-0,90	0,82 (70% AF-S; CFA)	0,92 (AFT; AFS)	---
Imersão	0,60-0,75	0,91 (70% AFT; CFA)	1,04 (80% AFT; CFA)	---
Tempo aberto (30')	0,45-0,50	0,36 (70% AFS; AFT)	0,19 (AFT)	---

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A areia de leito fluidizado apresenta uma distribuição granulométrica diferente da pretendida (a malha de 315 μ m deveria compreender no mínimo 15% de material retido e, especialmente relevante, existe um excesso de partículas a 1250 μ m) conforme indicado pela tabela 1. Um tratamento por crivagem aproxima muito os resultados obtidos dos desejados conforme se pode notar pela análise da tabela 2 e corroborar pelo teste de utilização do material nos produtos acabados, argamassa-cola C2 e reboco, uma vez que estes apresentam valores perfeitamente enquadrados com os seus requisitos neste domínio, de acordo com os dados das tabelas 4 e 5. Finalmente, o resultado em escala industrial ainda refinou mais estes valores segundo o indicado na tabela 6. Por outro lado, fica uma nota relativa à cor do material, castanho forte, que pode limitar a sua utilização em produtos de cor branca, especialmente se for um requisito fundamental.

Por outro lado, a areia de leito fluidizado, mesmo depois de lavada, ainda apresenta níveis preocupantes de sais na sua superfície, mesmo que se revelem valores abaixo dos indicados em termos de recomendações para agregados, como revelado pelos dados das tabelas 3 e 6. Esta observação pode ser a base para justificar a obtenção de tempos de presa menores por utilização deste agregado, devido, essencialmente, a uma concentração maior de ião cloro. Também não se prevê qualquer acção negativa pela matéria orgânica presente, dado que não se observa diminuição do valor da resistência à compressão para o reboco estudado, conforme indicado na tabela 5 [9]. Ainda assim, a sua utilização como agregado requer uma melhoria ao nível da lavagem embora se reconheça, desde já, a sua potencial utilização uma vez que as argamassas preparadas com a utilização deste material apresentam, na generalidade, propriedades de acordo com as especificações exigidas. De facto, com excepção do tempo de presa, apenas um valor de aderência não se verificou estar dentro da especificação, conforme indicado na tabela 4, mas cuja associação será sempre muito pouco provável.

Finalmente, relativamente ao processo global, uma nota de observação para o tempo decorrido para o licenciamento do processo que se verifica ser superior a 2 anos.

Relativamente às lamas de pó de pedra de granito, os resultados obtidos sugerem que o material estudado se apresenta como alternativa viável para utilização como agregado para argamassas-cola. A sua utilização como agregado tem particular interesse pelo seu grau de finura, por apresentar partículas abaixo de 80 μ m. Interessa, no entanto, garantir a ausência de partículas abaixo de 5 μ m para não se condicionar a sua utilização sem regras de segurança devido à problemática de sílica respirável.

Os dados das tabelas 8 e 9 revelam um material de acordo com os requisitos para argamassa, ao nível da sua caracterização isolada e ao nível da sua incorporação numa argamassa-cola. Ademais, segundo os resultados revelados na tabela 9, a sua incorporação apresenta um valor adicional pela melhoria de manuseamento da argamassa enquanto pasta. Também os resultados relativos às aderências mostram um aumento de valores com a sua incorporação, provavelmente, devido ao maior envolvimento ou transferência geral do produto em pasta com o elemento cerâmico do ensaio. No entanto, a sua incorporação tem limites por implicar uma diminuição do tempo aberto da argamassa, dada a presença de maior quantidade de finos.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, indicam que a incorporação de resíduos diversos, derivados das areias de leito fluidizado da indústria do papel e das lamas resultantes do corte da pedra do granito, se trata de uma opção a considerar com fortes probabilidades de sucesso. A sua utilização requer, contudo, um conjunto de acções prévias de tratamento, como a eliminação de alguns elementos indesejáveis, como sais solúveis e de compostos orgânicos, ou a separação de partículas. Ainda assim, não se pode considerar que tais operações unitárias sejam um acréscimo significativo de custos envolvidos, já que a obtenção corrente dos materiais, não resíduos, para o mesmo efeito, exigem igualmente algumas operações de correcção, algumas das quais, inclusive de maior custo se englobarem processos de moagem.

Considerando, obviamente, processos de licenciamento ambiental como estritamente necessário para o correcto e transparente manuseamento/processamento destes materiais, não se pode, contudo, abdicar de uma palavra de reflexão para a morosidade e complexidade de elaboração e execução dos processos pelas entidades oficiais o que se apresenta, desde logo, como o principal foco de resistência à continuidade e conclusão dos mesmos em tempo razoável.

Outros tipos de resíduos apresentam propriedades mais técnicas, pelo que se tornam de utilização mais específica em argamassas. Por isso, o potencial de utilização é menor pelo que o risco de negócio associado aumenta substancialmente. Como resultado, o tratamento prévio destes materiais não é aliciante para o mercado, pelo menos a curto prazo, o que limita logo de raiz a sua continuidade ao nível de processo industrial. Efectivamente, a realidade apresentada para as lamas de filtração, como caso isolado, nunca poderão constituir um negócio por si, dada a sua diminuta utilização. Uma solução passará, obrigatoriamente, pela junção deste a um número significativo de outros casos e, apenas numa visão global, se poderia considerar possível a viabilidade para um negócio de sucesso.

6. REFERÊNCIAS

- [1] www.apfac.pt, 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, pesquisa de 14/10/09.
- [2] Rocha, B., Bastos, A., Cachim, P., *Utilização de agregados reciclados em pré-lajes de betão*, Congresso de inovação na construção sustentável, págs. 217-229, Outubro 2008, Curia.
- [3] European Commission-Directorate E-Industry and environment-management of construction and demolition waste, working document nº1 DG ENV.E.3-4 April 2000;
- [4] Symonds, *Construction and demolition waste practices and their economics impacts*, England, 1999.
- [5] Dodson, V.H., Farkas, E., Rosenberg, A.M., *Non-corrosive accelerator for setting of cements*, US Pat. 3 210 207, 5 Oct. 1965.
- [6] Modolo, R., Machado, L., Benta, A., Labrincha, J.A., Ferreira, V.M., *Solutions development for pulp and paper process solid wastes-from laboratory bench to industrial scale*, Congresso de inovação na construção sustentável, págs. 11-21, Outubro 2008, Curia.
- [7] www.polimagra.pt, pesquisa de 14/10/09.

- [8] Raupp-Pereira, F., Silva, L., Segadães, A.M., Hotza, D., Labrincha, J.A., *Potable water filtration sludge: Use as set retarder in one-coat plastering mortars*, Construction and Building Materials, 21, 646-653, 2007.
- [9] NP EN 13139: 2005-*Agregados para argamassas*, CEN.
- [10] British Standards Institution BS 812:1975-*Methods for sampling and testing of mineral aggregates and fillers*.