
CARACTERIZAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DE DESCARTE DE AREIAS DE MOLDAGEM UTILIZADAS EM FUNDIÇÃO

Leila Figueiredo de Miranda

Joel Francisco Silva

Luiz Henrique de Souza

Marcus Antonio Vale

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

Este trabalho teve como principal objetivo estudar descartes do processo de recuperação de areia de moldagem cura frio utilizado na fabricação de moldes para fundição, os quais são constituídos basicamente de um polímero termofixo denominado resina ureia formol e de grãos de areia de sílica (SiO_2). Adicionalmente também foi estudado o descarte do processo de fabricação de moldes em areia à verde, por se tratar do processo mais utilizado pelas fundições do mundo todo. Esses resíduos foram adicionados um de cada vez numa proporção de 20% a misturas de areia de moldagem à verde executadas em laboratório, objetivando seu reaproveitamento dentro da própria indústria geradora do descarte. Os resultados mostraram que parte dos resíduos descartados pelo sistema de recuperação de areia de moldagem, em cura frio, pode ser reaproveitada, assim como os resíduos do descarte do próprio processo de areia de moldagem à verde.

Palavras-chave: Descartes. Polímero termofixo. Areia de moldagem à verde.

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas para a indústria de fundição são os resíduos produzidos durante o processo. O principal processo dentro de uma empresa de fundição é a fabricação do molde em areia, da qual mais tarde será vazada a liga líquida que depois de solidificada origina o produto fundido. Para a fabricação do molde é necessário preparar uma mistura refratária conhecida como areia de moldagem, que é constituída de um material refratário que no referido caso trata-se da areia de sílica, um aglomerante que pode ser resina, argila ou bentonita e, por último, aditivos diversos – sendo os mais utilizados o mogul e o pó de carvão. É durante o processo de fabricação da areia de moldagem que ocorre a geração da maior parte dos resíduos de uma empresa de fundição. Além dos gases gerados pela areia de moldagem durante o processo de fabricação de moldes e vazamento da liga líquida, essa mesma areia gera resíduos sólidos em sua maior parte durante seu processo de recuperação e também devido ao seu próprio excesso dentro do equipamento de recuperação (AMERICAN FOUNDRY SOCIETY – AFS, 1982; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – Abifa, 1999; CARVALHO FERREIRA, 1999).

O crescimento observado nos últimos anos para esse tipo de indústria tem provocado aumento nas quantidades de resíduos gerados e isso constitui um risco para o meio ambiente. Esses resíduos são acumulados ou enviados a aterros, sempre de acordo com as exigências das legislações específicas. Esse resíduo é controlado pelos órgãos de defesa do meio ambiente, como Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), que indicam as diretrizes de controle ambiental – cada dia mais exigentes em termos de legislação ambiental. Segundo dados da Abifa (2014), foram gerados em 2011, cerca de 2 milhões de toneladas de areia de fundição contaminadas com resinas, metais e não metais. Como o custo do descarte gira em torno de R\$ 70,00/ton, descontando os gastos com fretes e licenças ambientais, cada vez mais as técnicas de regeneração e reutilização desse descarte conquistam espaço nas empresas de fundição. Daí a importância de procurar alternativas para reutilizar esse resíduo, reduzindo, assim, os custos com descarte e o impacto ao meio ambiente. Os processos utilizados pela indústria de fundição para fabricação de seus moldes podem ser classificados de acordo com o tipo de aglomerante utilizado (MARRIOTO, 2000). De maneira resumida, é possível classificar os aglomerantes em orgânicos (resinas) e inorgânicos (argilas). Baseado no material aglomerante, o resíduo de areia é classificado de acordo com sua toxicidade e consequentemente descartado conforme recomendações da legislação pertinente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os resíduos ou descartes de areia de moldagem objeto deste estudo foram coletados na fundição das Indústrias Romi S.A. Os resíduos foram divididos em três categorias, conforme demonstra o Quadro 1.

QUADRO 1

Categorias de resíduos

Categoria	Designação	Identificação do resíduo
1	Areia de exaustão	Resíduo de tamanho superior a 0,10 milímetros separado pelo sistema de recuperação de areia. Na grande maioria são os grãos de areia-base
2	Pó de exaustão	Resíduo separado pelo exaustor do sistema de recuperação de areia classificado como pó. Na maioria são restos de resina termofixa que estava aderida ao grão de areia-base
3	Areia à verde	Grãos de areia de sílica misturados com argila e pó de carvão, que, juntos, formam outro tipo de areia de moldagem, aglomerada com material inorgânico e que também gera descarte

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para obter a areia de moldagem de laboratório foram utilizadas as matérias-primas listadas no Quadro 2.

QUADRO 2

Matérias-primas utilizadas na obtenção da areia de moldagem de laboratório

Item	Designação	Identificação da matéria-prima
1	Areia-base	Óxido de silício SiO_2 , principal constituinte de uma areia de moldagem utilizada em fundição
2	Argila	Aglomerante utilizado durante a mistura da areia de moldagem à verde
3	Bentonita	Aglomerante utilizado durante a mistura da areia de moldagem à verde
4	Mogul	Aditivo utilizado durante a mistura da areia de moldagem à verde, adicionado com a finalidade de melhorar a plasticidade da areia de mistura

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2 Métodos

Os ensaios para caracterização dos diferentes resíduos e também da areia de moldagem obtida em laboratório (mistura de laboratório) estão listados no Quadro 3.

QUADRO 3

Ensaio para caracterização dos diferentes resíduos e da areia de moldagem

Ensaio	Areia de exaustão	Pó de exaustão	Areia à verde	Mistura de laboratório
Difração de raio-X	X	X	X	
Microscopia eletrônica de varredura	X	X	X	
Perda ao fogo	X	X	X	
Permeabilidade				X
Resistência à compressão				X

Fonte: Elaborado pelos autores.

A difração de raios X foi utilizada com o objetivo de identificar as fases cristalinas dos materiais de cada amostra. Utilizou-se o difratômetro de raios X, marca Rigaku, modelo miniflex II. As condições experimentais do ensaio foram:

- comprimento de onda Cu-K α : 1,540596 Å;
- faixa 2 θ : 5° a 60°;
- passo: 0,05°/s.

A avaliação das fases de cada amostra foi dada pela comparação dos picos gerados no difratograma com padrões em banco de dados de difratograma característico para cada amostra.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para determinação da morfologia e para obtenção dos dados quantitativos com maior precisão de cada elemento químico presente nas amostras.

A perda ao fogo foi realizada, conforme recomendação número 120 da Comissão de Estudos de Matérias-Primas (CEMP – Associação Brasileira das Indústrias de Fundição de Ferro e Aço), para determinar o teor de materiais orgânicos e da água de cristalização contidos nos constituintes dos materiais da areia de moldagem de laboratório, usados como indicativos para prevenção de defeitos causados por gases.

A permeabilidade da mistura padrão foi realizada, conforme recomendação número 61 da CEMP, para determinar uma propriedade que toda a areia de moldagem possui: a de se deixar atravessar pelos gases.

A resistência à compressão à verde da mistura padrão foi realizada, conforme recomendação número 60 da CEMP, para determinação da máxima tensão em compressão que a areia de moldagem é capaz de suportar.

A mistura padrão foi realizada, de acordo com a recomendação número 68 da CEMP, para fixar as condições de mistura e obter o mesmo grau de preparação das areias de moldagem preparadas para este estudo.

2.2.1 Obtenção das amostras de areia de moldagem

Das quatro diferentes amostras obtidas foram confeccionados corpos de prova padronizados de acordo com as recomendações. A composição de cada mistura está ilustrada na Tabela 1.

TABELA 1

Composição das amostras de areia de moldagem

Mistura padrão	Areia-base nova (%)	Argila (%)	Bentonita (%)	Mogul (%)	Resíduo de areia à verde (%)	Resíduo de areia de exaustão (%)	Resíduo de pó de exaustão (%)	Água (mL)
1	100	6,0	2,0	3,0	-	-	-	50
2	100	5,0	1,0	2,0	20,0	-	-	66
3	100	5,0	1,0	2,0	-	20,0	-	66
4	100	5,0	1,0	2,0	-	-	20,0	66

Fonte: Elaborada pelos autores.

A mistura 1 foi executada sem adicionar nenhum dos resíduos e serviu como base de comparação para as demais misturas, às quais foram adicionadas separadamente em cada uma delas 20% de cada tipo de resíduo, conforme descrito na Tabela 1.

As obtenções das misturas padrão de areia de moldagem foram realizadas em um misturador de mós verticais, de laboratório, com capacidade de até 5,0 kg. A Figura 1 mostra o misturador utilizado.



Figura 1 Misturador de mós verticais, de laboratório, utilizado na obtenção das misturas

Para realizar a mistura da areia de moldagem, foram adicionados ao misturador todos os constituintes sólidos e permaneceram misturados durante 5 minutos para

que fossem homogêneos. Em seguida, foi adicionada a água, e a composição obtida foi misturada novamente por mais 20 minutos.

Após o tempo de mistura, uma massa de areia previamente definida foi transferida para o cilindro padrão para realizar a compactação da areia, em martelete de determinação da compactabilidade da mistura padrão e, conseqüentemente, obter os corpos de prova nas condições estabelecidas para realização dos ensaios de permeabilidade e resistência à compressão à verde. A Figura 2 ilustra o cilindro com areia de moldagem, a Figura 3, o martelete de determinação de compactabilidade e a Figura 4, o corpo de prova.



Figura 2 Cilindro padrão com areia de moldagem



Figura 3 Martelete para determinação da compactabilidade

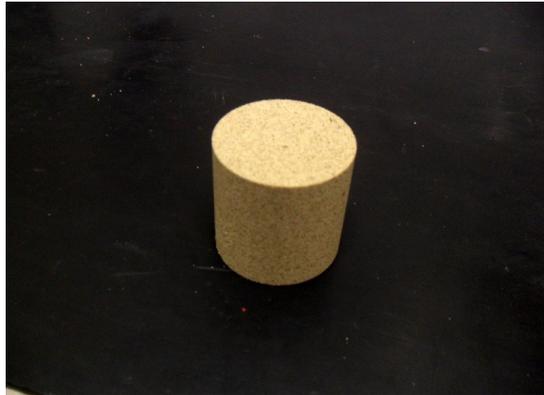


Figura 4 Corpo de prova padrão em areia

Após a compactação da areia em martelete, o cilindro metálico contendo a areia compactada em seu interior é acoplado ao equipamento denominado permeâmetro e o ensaio de permeabilidade é realizado.

Para o ensaio de resistência à compressão à verde, remove-se o corpo de prova em areia do cilindro metálico (Figura 4), que é ensaiado em máquina universal de ensaios. A Figura 5 ilustra o permeâmetro, e a Figura 6 mostra a máquina universal de ensaios com o corpo de prova cilíndrico em areia.



Figura 5 Permeâmetro para areia à verde

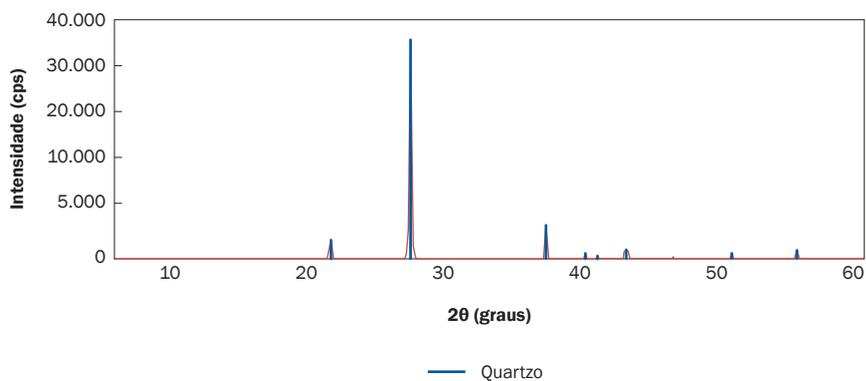


Figura 6 Máquina universal de ensaios em areia à verde com corpo de prova

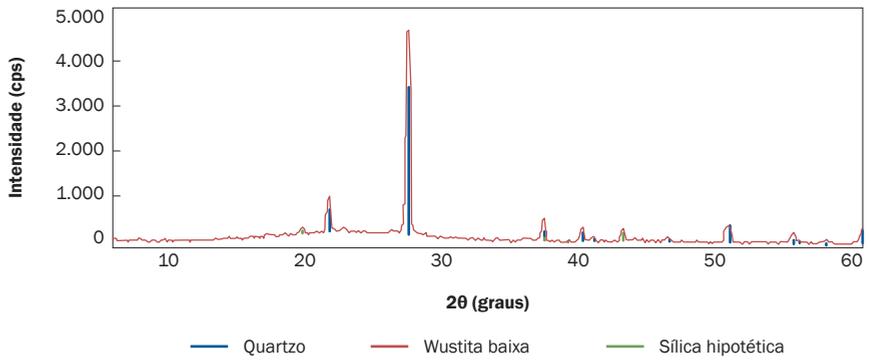
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Difração de raios X

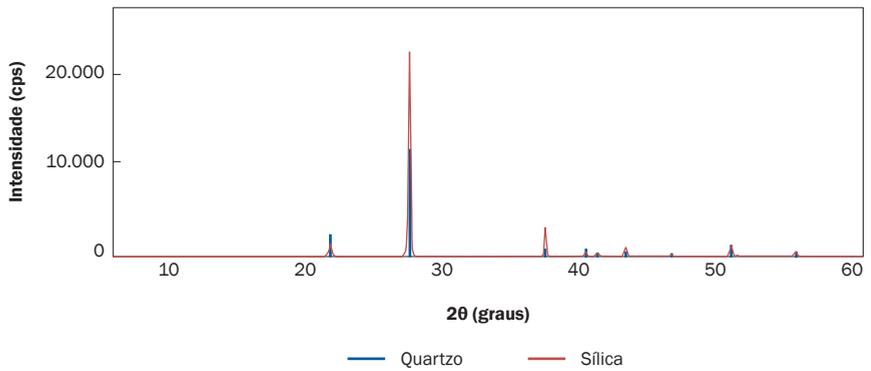
Os difratogramas de 1 a 4 apresentam a difração de raios X das amostras retiradas do descarte da areia de moldagem à verde, do pó de exaustão, da areia de exaustão e da areia de moldagem à verde de laboratório.



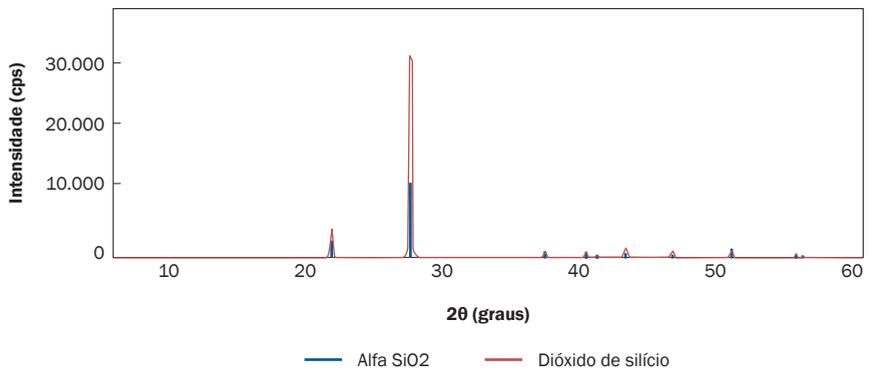
Difratograma 1 Resíduo de areia de moldagem à verde



Difratograma 2 Resíduo de pó de exaustão



Difratograma 3 Resíduo de areia de exaustão



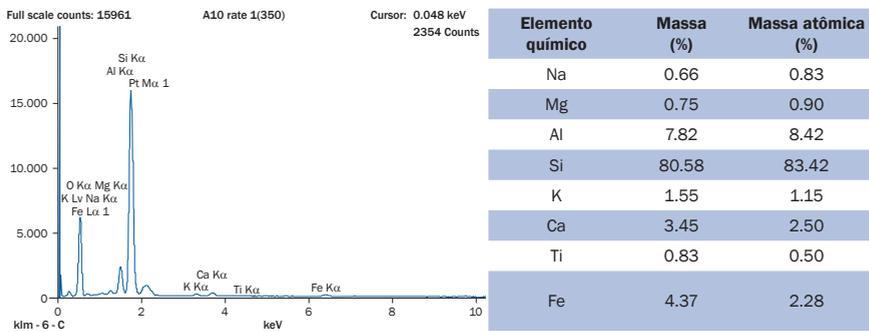
Difratograma 4 Amostra de areia de moldagem à verde de laboratório

A partir dos resultados apresentados, pode-se observar:

- a estrutura cristalina da amostra de areia de moldagem à verde de laboratório e o resíduo de areia de moldagem à verde são bastante similares;
- o resíduo de pó de exaustão apresenta Wustita baixa em sua composição e em seu material orgânico.

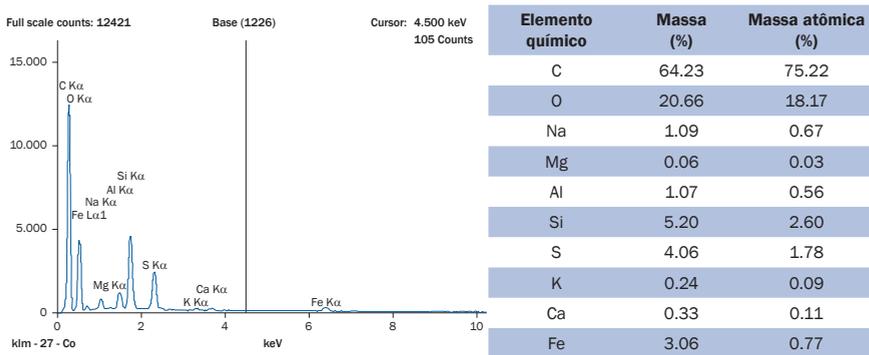
3.2 Espectroscopia por energia dispersiva (EDS)

Este ensaio fornece dados quantitativos de elementos químicos presentes nas amostras. O Espectrograma 1 mostra os elementos químicos da amostra de areia de moldagem à verde de laboratório.



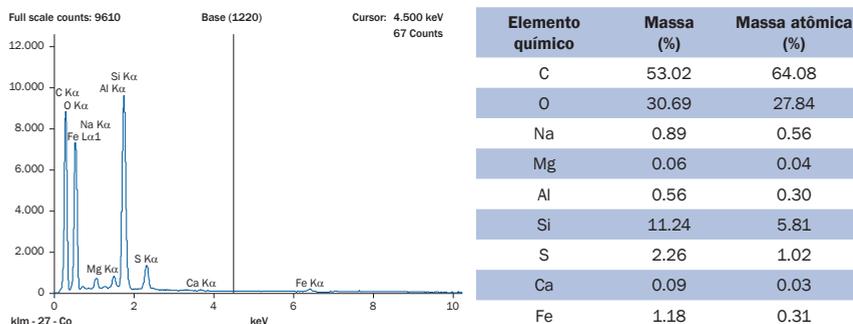
Espectrograma 1 Amostra de areia de moldagem à verde de laboratório

O Espectrograma 2 mostra os elementos químicos presentes na amostra do resíduo do pó de exaustão.



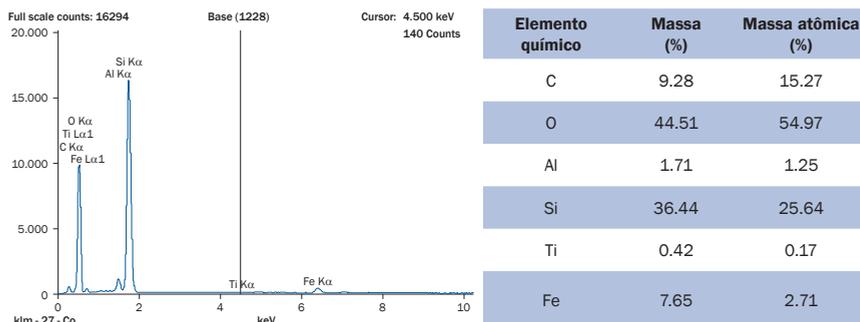
Espectrograma 2 Amostra do resíduo de pó de exaustão

O Espectrograma 3 mostra os elementos químicos presentes na amostra do resíduo da areia de exaustão.



Espectrograma 3 Amostra do resíduo da areia de exaustão

O Espectrograma 4 mostra os elementos químicos presentes na amostra do resíduo da areia de moldagem à verde.



Espectrograma 4 Amostra do resíduo da areia de moldagem à verde

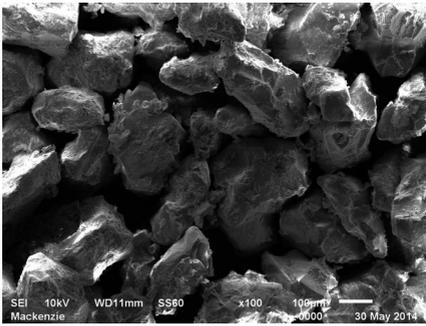
Por meio dos resultados apresentados, observa-se que:

- comparando os resultados da amostra de areia à verde de laboratório com a amostra de resíduo de areia de moldagem à verde, esta última não contém Na, Ca, K, e Mg;
- comparando os resultados da amostra de areia à verde de laboratório com a amostra do resíduo do pó de exaustão, observa-se que este último não contém Ti, mas contém C, O e S; provavelmente devido à presença de material orgânico. Esses resultados estão de acordo com o Difratograma 2, que apresenta um ruído característico de material orgânico;

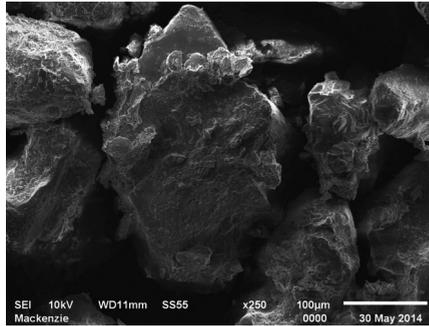
- comparando os resultados da amostra de areia à verde de laboratório com a amostra de resíduo de areia de exaustão, vemos que esta última não contém K e Ti, mas contém C, O e S.

3.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

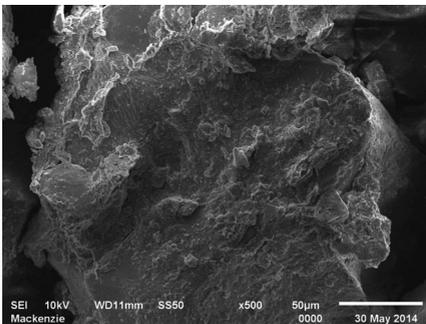
As micrografias de 1 a 15 apresentam estruturas das amostras de areia de moldagem à verde de laboratório, amostras de resíduos de pó de exaustão, da areia de exaustão e da areia de moldagem à verde.



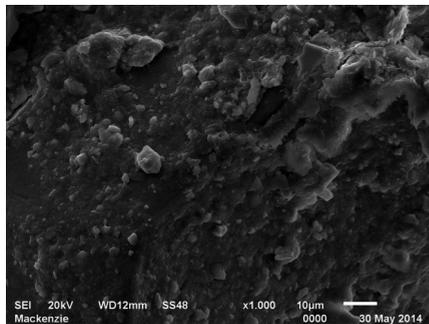
Micrografia 1 Areia de moldagem à verde de laboratório com aumento de 100 vezes



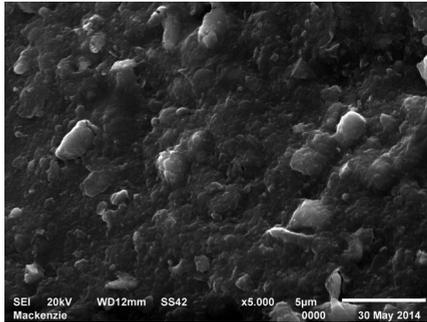
Micrografia 2 Areia de moldagem à verde de laboratório com aumento de 250 vezes



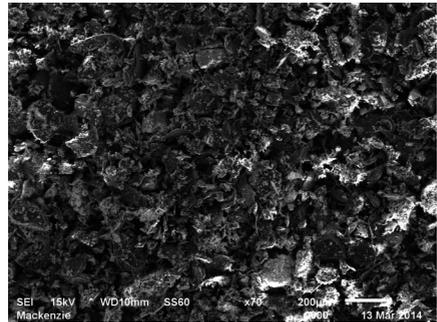
Micrografia 3 Areia de moldagem à verde de laboratório com aumento de 500 vezes



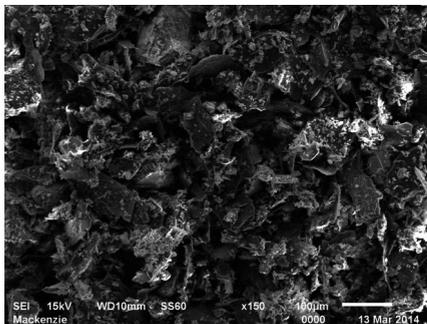
Micrografia 4 Areia de moldagem à verde de laboratório com aumento de 1.000 vezes



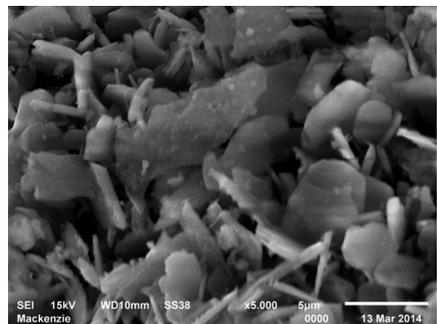
Micrografia 5 Areia de moldagem à verde de laboratório com aumento de 5.000 vezes



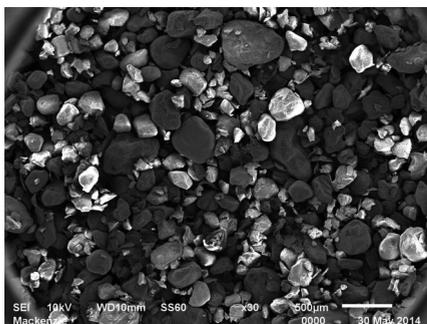
Micrografia 6 Amostra do resíduo do pó de exaustão com aumento de 70 vezes



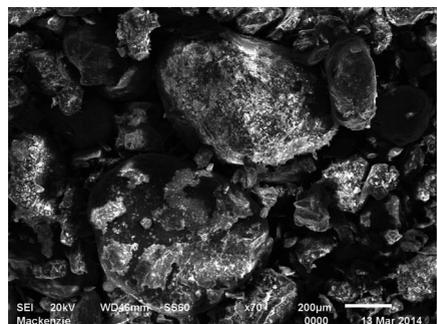
Micrografia 7 Amostra do resíduo do pó de exaustão com aumento de 150 vezes



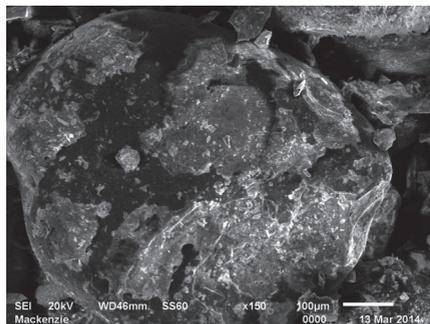
Micrografia 8 Amostra do resíduo do pó de exaustão com aumento de 5.000 vezes



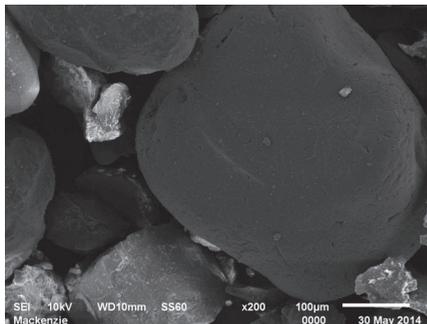
Micrografia 9 Amostra do resíduo da areia de exaustão com aumento de 30 vezes



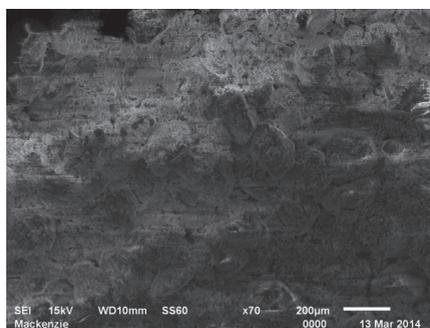
Micrografia 10 Amostra do resíduo da areia de exaustão com aumento de 70 vezes



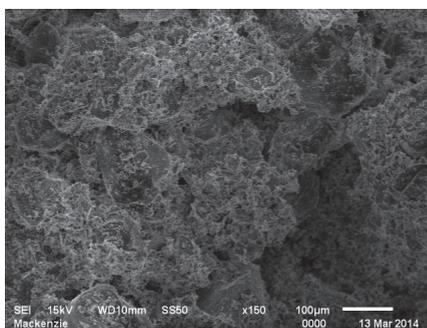
Micrografia 11 Amostra do resíduo da areia de exaustão com aumento de 150 vezes



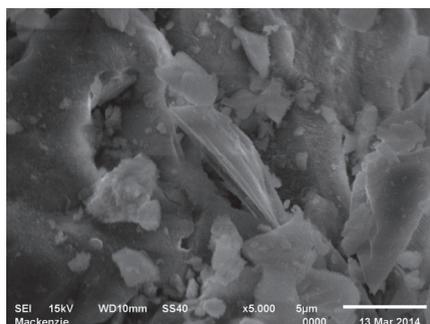
Micrografia 12 Amostra do resíduo da areia de exaustão com aumento de 200 vezes



Micrografia 13 Amostra do resíduo da areia de moldagem à verde com aumento de 70 vezes



Micrografia 14 Amostra do resíduo da areia de moldagem à verde com aumento de 150 vezes



Micrografia 15 Amostra do resíduo da areia de moldagem à verde com aumento de 5.000 vezes

Por meio das imagens obtidas por MEV, pode-se observar que:

- os grãos de areia da amostra da areia de moldagem à verde de laboratório apresentam-se mais limpos, ou seja, livres de material orgânico. Porém, ainda observam-se vestígios de resina;
- os grãos de areia da amostra do resíduo de areia de exaustão apresentam-se com formato similar aos grãos da amostra da areia de moldagem à verde de laboratório, porém com tamanho de grão pouco maior, devido ao revestimento parcial da resina;
- nos grãos de areia da amostra do resíduo de areia de exaustão nota-se a presença de resina aderida em quantidade maior do que aquela observada para os grãos de areia da amostra da areia de moldagem à verde de laboratório.

3.4 Perda ao fogo

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para os ensaios de perda ao fogo.

TABELA 2

Resultados obtidos para os ensaios de perda ao fogo

Amostra	Perda ao fogo (% em massa)
Resíduo de areia de exaustão	5,74
Resíduo de pó de exaustão	47,43
Resíduo de areia de moldagem à verde	0,18

Fonte: Elaborada pelos autores.

Por meio dos resultados da Tabela 2, é possível observar que:

- a amostra do resíduo da areia de moldagem à verde possui muito pouco material orgânico, ou seja, praticamente está isenta de resina;
- embora a amostra da areia de exaustão contenha certa quantidade de material orgânico, essa quantidade é muito baixa quando comparada com a amostra do resíduo do pó de exaustão, que contém quase 50% de material orgânico em sua composição.

3.5 Resistência à compressão à verde da mistura padrão

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para os ensaios de resistência à compressão à verde da mistura padrão em areia de moldagem à verde.

TABELA 3

Resultados obtidos para os ensaios de resistência à compressão à verde da mistura padrão em areia de moldagem à verde

Mistura padrão 1	Mistura padrão 2	Mistura padrão 3	Mistura padrão 4
0,29	0,27	0,22	0,33
0,30	0,24	0,19	0,37
0,29	0,26	0,19	0,33
0,28	0,25	0,20	0,34
0,29	0,23	0,21	-0,34
0,29	0,23	0,21	0,39
0,26	0,26	0,19	0,33
0,30	0,27	0,19	0,38
0,26	0,27	0,21	0,37
0,25	0,25	0,22	0,38
Média = 0,28 ± 0,02	Média = 0,25 ± 0,02	Média = 0,20 ± 0,01	Média = 0,36 ± 0,02

Fonte: Elaborada pelos autores.

Conforme pode ser observado, a amostra com resíduo do pó de exaustão apresentou valores maiores de resistência. A partícula com tamanho menor (classificada como pó), pode se alojar nos espaços vazios, entre os grãos de areia, elevando assim a resistência à compressão.

Para as demais misturas, observa-se um pequeno decréscimo nos valores de resistência à compressão com a adição dos outros resíduos.

3.6 Permeabilidade da mistura padrão

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para os ensaios de permeabilidade da mistura padrão em areia de moldagem à verde.

TABELA 4

Resultados obtidos para os ensaios de permeabilidade da mistura padrão em areia de moldagem à verde

Mistura padrão 1	Mistura padrão 2	Mistura padrão 3	Mistura padrão 4
48	30	33	0
50	28	28	0
52	35	40	0
52	32	40	0
48	35	40	0
56	32	36	0
52	33	38	0
48	35	36	0

continua

TABELA 4 (continuação)

Resultados obtidos para os ensaios de permeabilidade da mistura padrão em areia de moldagem à verde

Mistura padrão 1	Mistura padrão 2	Mistura padrão 3	Mistura padrão 4
48	33	38	0
56	30	40	0
Média = 51,9 ± 3,2	Média = 32,3 ± 2,4	Média = 36,9 ± 3,9	Média = 0,0

Fonte: Elaborada pelos autores.

Conforme pode ser observado, a adição do resíduo provocou queda nos valores de permeabilidade. Para o caso do resíduo de pó de exaustão, a areia de moldagem se tornou impermeável, pois a partícula com tamanho menor (classificada como pó), pode se alojar nos espaços vazios, entre os grãos de areia, tornando a mistura impermeável. Essa falta de permeabilidade inviabiliza sua utilização em moldes de fundição (OKIDA, 2006; MARRIOTO, 1965, 1978, 2000).

Para os demais resultados, observa-se queda mais acentuada nos valores de permeabilidade com a adição dos outros resíduos. A adição de resíduo não aglomerado com a argila e a bentonita, utilizados na mistura de laboratório, provocou diluição no percentual de aglomerante e, conseqüentemente, menor afastamento entre os grãos de areia, diminuindo assim os caminhos para a passagem do ar durante o ensaio de permeabilidade.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos por meio do ensaio de permeabilidade mostram que a adição de resíduo de pó de exaustão torna a areia de moldagem praticamente impermeável e, conseqüentemente, imprópria para uso nas fundições.

Os resultados obtidos por meio do ensaio de resistência à compressão à verde mostram que a adição de resíduos de areia de moldagem à verde e de areia de exaustão causam, ambos, um leve decréscimo nos valores obtidos, sendo perfeitamente ajustáveis para utilização nas fundições. Basta realizar um ajuste nos percentuais de argila e bentonita a serem adicionados.

Ficou evidente a relação entre tamanho de partícula e resultados de resistência à compressão à verde e permeabilidade da mistura padrão. Quanto menor o tamanho da partícula, menor sua permeabilidade e maior sua resistência à compressão.

Os resultados obtidos com o ensaio de perda ao fogo mostram que as amostras de resíduo do pó de exaustão apresentam valores extremamente altos, o que inviabiliza seu uso nas fundições. Os resultados apresentados para as amostras de resíduo de areia de exaustão, apesar de elevados, podem ser perfeitamente utilizados nas fundições nos percentuais descritos neste trabalho.

CHARACTERIZATION AND REUSE OF MOULDING SANDS DISPOSAL USED IN FOUNDRY

Abstract

This work aimed to study discharges of cold cure molding sand recovery process used in the manufacture of foundry molds which are basically made up of a thermoset polymer resin called urea formaldehyde and silica grains of sand (SiO₂). Additionally it was also studied the disposal of mold manufacturing process in sand to green, because it is the process most often used by foundries worldwide. These residues were added one at a time in a proportion of 20% to molding the green sand mixtures performed in the laboratory, aiming at its reuse within the generator disposal industry. The results showed that some of the discarded waste molding sand reclamation system, in cold cure, can be reused, as well as the proper waste disposal of the green sand molding process.

Keywords: Disposals. Thermoset polymer. Molding sand to green.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN FOUNDRY SOCIETY – AFS – PLANT ENGINEERING COMMITTEE (TC-1). Sand reclamation: an equipment update. *Modern Casting*, v. 72, n. 5, p. 37-42, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – Abifa. Comissão de Meio Ambiente. *Manual de regeneração e reuso de areias de fundição*. São Paulo, 1999. p. 1-49.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – Abifa. Areias Descartadas de Fundição (ADF). Disponível em: <<http://www.solucoesadf.com.br>>. Acesso em: 8 maio 2014.
- CARVALHO FERREIRA, J. M. G. *Tecnologia da fundição*. 3. ed. Lisboa: Editora Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.
- MARRIOTO, L. C. *Regeneração de areias de fundição*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1965.

MARRIOTO, L. C. *Areias de moldagem aglomeradas com argila*. São Paulo: IPT, 1978.

MARRIOTO, L. C. Regeneração de areias: uma tentativa de discussão sistemática. *Revista Fundição & Matérias-Primas, Caderno Técnico*, São Paulo, v. 33, n. 42, p. A-T, 2000.

OKIDA, J. R. *Estudo para minimização e reaproveitamento de resíduos sólidos de fundição*. 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)–Universidade Tecnológica do Paraná, Ponta Grossa, 2006.

Contato

Leila Figueiredo de Miranda
leila.miranda@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em novembro de 2014
Aprovado em dezembro de 2014