

Influência da areia de cura a frio reutilizada nas propriedades mecânicas e características superficiais de moldes empregados em fundição

The influence of recycled cold set on the mechanical properties and surface characteristics of molds used in casting process

Christian Egidio da Silva

Doutorando,
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA);
Chefe de Engenharia de Produto,
Gerdau Aços Especiais Brasil.
christianegidio@gmail.com

Diego Luiz Oliveira

Tecnólogo em Metalurgia,
Faculdade de Tecnologia (FATEC).
diegodulio@gmail.com

Luiz Carlos Silidônio Júnior

Técnico de Produto,
Gerdau Aços Especiais Brasil.
lui.junior@gerdau.com.br

Amir Rivaroli Júnior

Professor Assistente de Fundição I e II
Centro Paula Souza - Fatec Pindamonhangaba
Engenheiro de Processos Plenos,
Gerdau Aços Especiais Brasil.
amir.rivaroli@gerdau.com.br

Resumo

Emprega-se uma quantidade expressiva de areia em qualquer processo de fundição e, conseqüentemente, quantidade igual de resíduos sólidos é gerada. Surge, portanto, a necessidade de se maximizar a recuperação de areia por questões econômicas e ambientais. O objetivo desse trabalho é avaliar a influência do uso de areia de cura a frio reutilizada na resistência mecânica de moldes usados na fundição. Evidenciou-se que é possível empregar até 50% de areia recuperada para a confecção de moldes para o processo de fundição, sendo necessário, no entanto, alterar o percentual de resina da mistura. Não é recomendado utilizar mais do que 50% de areia reutilizada devido aos baixos resultados de propriedade mecânica obtidos. Observou-se uma diferença significativa na morfologia dos grãos à medida que a areia estava sendo reutilizada, apesar de não ter sido encontrada variação expressiva no tamanho médio do grão de areia.

Palavras-chave: Areia, reaproveitamento, fundição, resíduos, cura a frio.

Abstract

Optimizing cold set recycling is a great option to implement sustainability inside the casting industry. It allows for a reduction of raw material consumption and optimizes industrial wastes. The present work was developed to understand the influence of using cold set recycling on the mechanical properties of molds used in the casting industry. It was noted that it is possible to use up to 50% of recycled cold set in order to manufacture new sand molds, and that a change in resin percentage is necessary to improve the mechanical properties of cold set. The use of more than 50% of recycled cold set is not recommended because of the poor mechanical property results obtained. During the recycling cycles, it was observed that the grain morphology changed a lot.

Keywords: Sand, recycling, casting, wastes, cold set.

1. Introdução

Em função dos problemas ambientais associados à geração de resíduos, essa questão tomou tal relevância que, para muitas empresas, passou a ser tratada como estratégia empresarial, seja através do uso adequado dos recursos naturais, seja através da redução do impacto de suas atividades no meio ambiente. Independentemente do rumo escolhido para se sanarem deficiências ou problemas ambientais, essas empresas têm procurado alcançar o desenvolvimento sustentável e, ao mesmo tempo, têm focado o aumento da lucratividade de seus negócios.

Lopes et al. (2004) comentam que os custos da utilização de areia nova, nas indústrias de fundição, somados aos anseios dos órgãos ambientais, para redução da deposição de resíduos de fundição, em aterros sanitários, e para evitar a geração de descartes não nocivos ao meio ambiente, têm levado as fundições e os fornecedores de matéria-prima, tecnologia e equipamentos a estudar novos processos de reciclagem de areia.

De acordo com Okida (2006), o que se coloca às indústrias é a busca por novas tecnologias, por uma racionalização na utilização de recursos, eliminando ou reduzindo perdas, por um aperfeiçoamento do sistema produtivo (eco-eficiência) e

por um processo de integração interna e externa, para se efetivarem as transformações necessárias ao atual ambiente de negócios. A reutilização ou o reaproveitamento surge como recurso fundamental para se atingir a sustentabilidade.

Segundo Mahanti et al. (2004), as fundições precisam adotar estratégias de produção mais limpas, o que consiste na aplicação de uma estratégia integrada e preventiva de projetar processos e produtos, enfocando as operações e funções para gerar eficiência ambiental aumentada, eficaz e econômica. A produção mais limpa, não apenas inclui novas tecnologias, mas também, envolve práticas administrativas, modificações de processos, projeto de produto, novos equipamentos e novos materiais. Entre as estratégias a serem adotadas, está a reciclagem e uso/reuso de resíduos industriais. Para o caso de fundições, o reuso de areia usada pode resolver amplamente o problema que surge do seu descarte.

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2004; 2007), as indústrias de fundição usam grande quantidade de areia no seu processo de fundição e, em função disso, até tentam reciclar ou reutilizar parte dessa areia. No entanto, a quantidade

de areia que é reutilizada no processo de fundição não ultrapassa 15% do total de resíduo de areia gerado anualmente e, em função disso, esse material acaba sendo enviado para aterros. A agência acredita que uma significativa parcela adicional pode ser reutilizada, o que traria mais benefícios ainda, como um aumento na economia de energia, redução ainda maior dos danos ambientais, associados à extração de areia nova, e redução dos custos totais de fabricação. Em muitos casos, devido à impossibilidade ou dificuldade em reutilizar a areia de fundição no próprio processo produtivo, tenta-se minimizar esse problema empregando o resíduo de areia de fundição em outras aplicações, como para fins estruturais em construções, bases para rodovias, incorporação em asfaltos e argamassas.

Considerando a necessidade de minimizar a geração de excedentes de areia de fundição, desenvolve-se o presente trabalho no intuito de conhecer, exatamente, o comportamento da areia de cura a frio reutilizada, elaborada sob diversos traços e reaproveitada consecutivas vezes, em termos de propriedades mecânicas e outras características visuais, que possam fornecer informações importantes acerca do seu comportamento.

2. Materiais e métodos

O presente estudo foi dividido em duas etapas, sendo a primeira constituída em uma simulação de consecutivos

ciclos de reutilizações da mesma areia, denominado de “prática operacional”, e a segunda constituída de testes em es-

cala laboratorial, denominado de “caracterização laboratorial”, conforme segue abaixo.

Prática operacional - teste prático

O presente teste consistiu na realização de fundições consecutivas de pequenas peças (cunhas) em moldes confeccionados por areia recuperada oriunda de uma fundição anterior, ou seja, a mesma areia está sendo submetida a vários ciclos de fundição. Para tal, foi separada uma quantidade específica de areia quartzosa comercial “100% virgem”. Utilizando-se de um traço “areia/resina/catalisador” típico do processo, que, por razões óbvias de sigilo industrial, está sendo omitido, prepara-se a areia de cura a frio, que será utilizada como material de partida para o presente estudo. Moldam-se peças (cunhas) com dimensões padronizadas, utilizando-se a areia de cura a frio recém-preparada. Adiciona-se aos moldes um metal líquido típico da fundição a uma

temperatura superior a 1.400°C. Após resfriamento até a temperatura ambiente, a peça (cunha) fundida é retirada do molde de areia e esta, por sua vez, é separada. São quebrados os torrões de areia em um moinho de rodas (processo de destorroamento). Utilizando-se de uma peneira com #6 (3,35mm), são segregados os torrões de areia que não foram moídos por estarem sinterizados ou por conterem partículas metálicas. Exceto para esses torrões, todo o restante da areia é reutilizado. Estima-se que, nesse instante, seja descartado, aproximadamente, 5% do total de areia empregada na fundição. Coleta-se, então, uma amostra dessa areia, que será utilizada novamente, em quantidade suficiente para confeccionar corpos de prova de tração e compressão

e, ainda, para análise granulométrica e morfológica. Com isso, finaliza-se o 1º ciclo. Utilizando-se a areia moída, inicia-se, novamente, o processo de confecção dos moldes. Uma nova moldagem é realizada e, consecutivamente, as demais etapas são realizadas sucessivamente até completar 6 (seis) ciclos de fundição. O 6º ciclo de fundição compreenderá o 5º ciclo de “reutilização da areia”.

Para a “prática operacional”, o material de partida, para a elaboração do primeiro molde, foi: 100% de areia de sílica nova (40/50 AFS quartzosa comercial) específica para moldagem com cura a frio (designada como “virgem” no presente estudo), resina furânica com teor máximo de nitrogênio de 4% e catalisador PTS (paratolueno sulfônico). A

partir da segunda moldagem, inclusive a própria, não foi adicionada qualquer nova quantidade de areia “virgem”, sendo utilizados, apenas, os resíduos de areia da fundição anterior, após serem segregados os torrões sinterizados. As

proporções de resina sobre a areia e de catalisador sobre a resina foram mantidas constantes, para todos os ciclos de fundição utilizados no estudo, justamente para que fosse possível entender, adequadamente, a influência do número de

ciclos de reutilização da areia de cura a frio nas propriedades mecânicas e características superficiais dos moldes. Para a elaboração do traço, foi utilizado um misturador industrial típico de um processo de fundição.

Caracterização laboratorial

Para a elaboração dos corpos-de-prova utilizados na etapa “laboratorial”, foram empregados: areia de sílica (40/50 AFS *quartzosa* comercial) para moldagem com cura a frio (designada como “virgem” no presente estudo), areia reutilizada do próprio processo de fundição com cura a frio (designada como “reutilizada” no presente trabalho), resina furânica com teor máximo de nitrogênio de 4% e catalisador PTS (paratolueno sulfônico).

- **Ensaio de granulometria.** Foram utilizados um jogo de peneiras-padrão conforme ABNT (#6 ou 3,35mm, #12 ou 1,79mm, #20 ou 0,85mm, #30 ou 0,60mm, #40 ou 0,42mm, #50 ou 0,30mm, #70 ou 0,21mm, #100 ou 0,15mm, #140 ou 0,107mm, #200 ou 0,075mm e #270 e Fundo ou 0,053mm) e um agitador mecânico *Produtest*. Utilizou-se, como referência, o documento CEMP-081 (2003).
- **Preparação do traço.** Para a preparação do traço, para os testes

complementares da caracterização laboratorial, foi empregada uma batadeira planetária típica, sendo utilizado, como referência, o documento CEMP-182 (2003). Finalizada essa operação, iniciou-se a preparação dos corpos de prova. Os traços utilizados (“areia virgem/areia reutilizada”) para a confecção dos corpos de prova variaram de 10% até 90% de areia reutilizada (complemento constituído por areia virgem). Concluída a análise granulométrica, foram elaborados corpos de prova para cada traço. Para as simulações das reutilizações (ciclos de reutilização), foi empregada a areia no estado como recolhido após desmoldagem.

- **Resistência à compressão.** Foi avaliada a resistência à compressão após 24 h da elaboração do corpo de prova. Foi utilizado o documento CEMP-060 (2003) como referência, sendo elaborado um corpo de prova por traço.

Empregou-se uma máquina universal de avaliação da resistência de areias, da *Dietert Detroit Product*.

- **Resistência à tração.** Foi avaliada a resistência à tração após diferentes períodos de espera: 4h, 5h e 24h. Foi utilizado o documento de recomendação CEMP-162 (2003), sendo elaborados três corpos de prova por traço. Empregou-se uma máquina universal de avaliação da resistência de areias, da *Dietert Detroit Product*.
- **Caracterização morfológica e microestrutural.** Utilizando-se de um microscópio ótico, modelo *LEICA DMLM*, dotado de analisador de imagens, de um estereomicroscópio, modelo *MICRONAL*, e de um microscópio eletrônico de varredura *JEOL JSM-6490 LV*, foram analisadas as geometrias dos grãos de areia e, também, as superfícies de uma das faces de alguns corpos de prova de tração utilizados no presente estudo.

3. Resultados e discussão

Ensaio de granulometria

Em trabalho anterior, Silva et al. (2008) observaram um aumento do teor de finos ao serem comparadas a areia virgem e a areia recuperada, evidenciando a ocorrência de fracionamento da areia após sua utilização. Quanto maior o teor de finos, maior a área superficial dos grãos de areia e, conseqüentemente, para serem mantidos níveis aceitáveis de resistência mecânica, torna-se necessário aumentar a quantidade de ligante (resina) e de catalisador na mistura. Tendo em vista que se objetiva uma maximização na recuperação de areia, o aumento no teor de finos é inevitável. Portanto, para a maximização, tornar-se-á necessário um incremento do consumo de resina.

Na Figura 1, encontra-se a análise

granulométrica da areia coletada após cada um dos ciclos de reutilização de areia. Embora o perfil da análise granulométrica seja muito parecido para todos os ciclos, ao serem analisados apenas os percentuais retidos para as peneiras de #30 a #100 para o primeiro e último ciclos de fundição, percebe-se que:

- **Peneiras #30 e #40:** o percentual retido após o 7º ciclo de fundição aumentou, respectivamente, ~46% (de 1,3% para 1,9%) e ~28% (de 25,3% para 32,5%) em relação ao 1º ciclo de fundição. Esse fato sugere que a ocorrência de agregação dos grãos mais finos ao longo do processo de reutilização é devido à existência de quantidade cada vez maior de residual do ligante

(resina). Isso faz com que pequenas partículas fiquem aderidas umas às outras, formando “cachos” ou “pequenos aglomerados”.

- **Peneiras #50, #70 e #100:** percebe-se uma sistemática redução do percentual de areia retida após o 7º ciclo de fundição em relação ao 1º ciclo: de 52,1% para 48,6% na peneira #50 (redução de ~7%), de 16,0% para 13,0% na peneira #70 (redução de ~23%) e de 4,7% para 3,4% na peneira #100 (redução de ~38%). Isto reforça a existência de um fracionamento dos grãos de areia seguido de uma agregação dos mesmos, o que justificaria um aumento do percentual retido para as peneiras #30 e #40.

Resistência mecânica

Em estudos preliminares dos autores, Silva et al. (2008) evidenciaram que

existe queda abrupta de resistência, tanto em tração, quanto em compressão, quan-

do são utilizados 30% de areia recuperada ou mais.

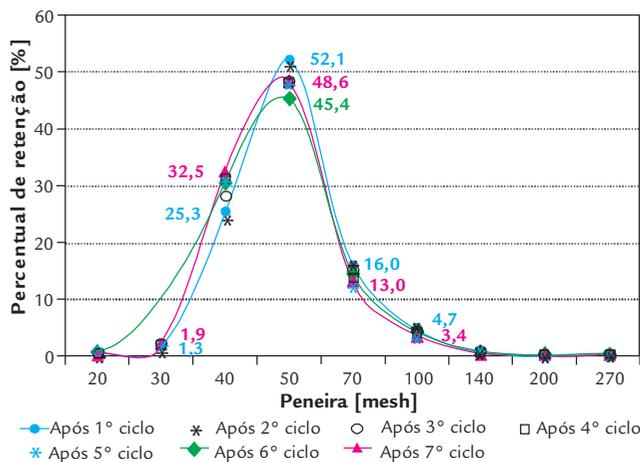


Figura 1
Distribuição granulométrica da areia após as consecutivas fundições.

Após análise dos grãos da areia reutilizada, através de microscopia ótica, percebeu-se que existia uma alteração significativa na sua morfologia. Os grãos de areia virgem são muito mais uniformes e com menos relevos (saliências) do que os grãos de areia reutilizada. Uma morfologia mais irregular associada a um aumento do teor de finos proporciona uma área superficial dos grãos consideravelmente superior a uma condição normal (observada para um grão de areia virgem). Isto proporciona uma tendência natural de se consumir mais resina para situações em que são empregadas areias reutilizadas, ou seja, para se atingir um mesmo nível de resistência, à medida que é aumentada a proporção de areia reutilizada na mistura, parece ser necessário incrementar a quantidade de resina, de forma que se consiga “molhar” e “envolver” adequadamente os grãos da areia reutilizada. Avaliando-se os resultados obtidos nos ensaios de tração e compressão, é possível supor que os baixos valores obtidos para traços superiores a 30% de areia reutilizada sejam devidos, muito provavelmente, à incapacidade de a resina envolver por completo os grãos e molhá-los, uma vez que a proporção de resina foi mantida para a elaboração de todas as misturas de areia.

Dando continuidade aos testes conduzidos anteriormente por Silva et al. (2008), foram simulados diferentes traços de “areia virgem/areia recuperada”, porém alterando-se o percentual de resina na mistura. Adotou-se o tempo de cura 24h, ou seja, intervalo de tempo entre a elaboração da mistura (para confecção dos corpos de prova) e o teste. Vale comentar que os resultados de resistência à tração, para um intervalo de tempo de 24h, foram muito superiores àqueles resultados obtidos para intervalos de 4h ou 5h, o que reforça a necessidade de se aguardar um tempo mínimo de 24h entre a preparação da mistura e o uso propriamente dito - intervalo em que se assegura uma maximização da cura da areia no molde.

Analisando-se a Figura 2, percebe-se que, para um determinado percentual de resina, a resistência à tração diminui com o aumento do percentual de areia recuperada utilizado. Outro comportamento que pode ser observado na Figura 2, e que já era esperado, é o aumento da resistência à tração com o aumento do percentual de resina. Pode-se notar que, a partir de 1,5% de resina, a resistência à tração não sofreu alteração. Portanto parece não ser viável incrementar mais ainda o percentual de resina, visto que não traz benefícios adicionais em termos de resis-

tência mecânica.

Os resultados de tração, para traços preparados, utilizando-se 60% e 70% de areia recuperada, apresentaram-se insatisfatórios, mesmo após incremento do percentual de resina, conforme Figura 2. Para traços preparados com maior quantidade de areia recuperada (80% e 90%), a areia não curou, mesmo aguardando-se um intervalo de 24h, período considerado ideal para a cura. Devido a isso, não foi possível realizar testes de tração. Para esses testes, não foi alterado o percentual de catalisador. Seu incremento, provavelmente, irá favorecer a aceleração do processo de cura, o que poderá proporcionar alguma melhora nos resultados de resistência mecânica para traços preparados com maior percentual de areia recuperada (acima de 50%, por exemplo).

Na Figura 3, podem ser encontrados os resultados de resistência à compressão e tração para os testes conduzidos com a areia reutilizada após consecutivos ciclos de reutilização. Observa-se que, tanto a resistência à compressão, quanto a tração são maximizadas para o 1º ciclo de fundição, o que já era esperado. Os resultados obtidos para o 1º ciclo estão condizentes com a literatura e similares àqueles obtidos para uma areia de cura a

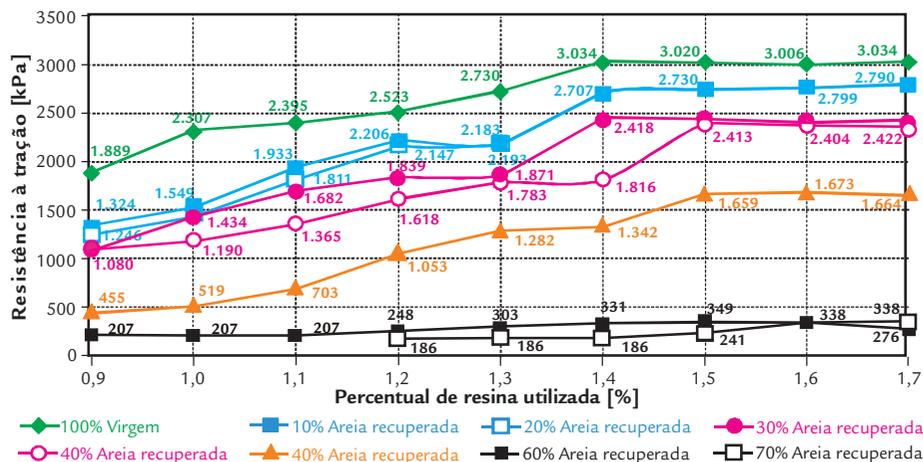


Figura 2
Resultados do ensaio de resistência à tração após 24h de cura em função do traço “areia virgem/areia recuperada” e do percentual de resina utilizado.

frio preparada apenas com areia virgem (Silva et al., 2008).

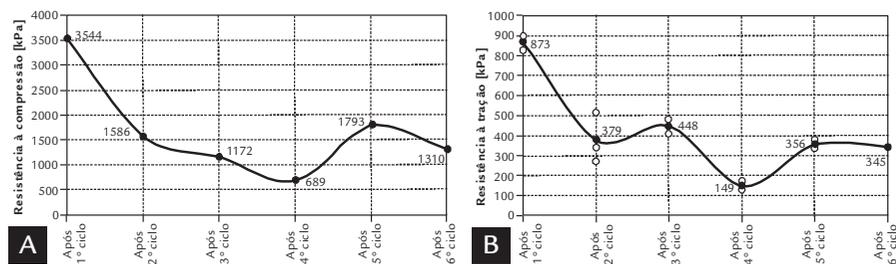
Para o 2º ciclo de fundição, percebe-se que a resistência mecânica (tanto em tração, quanto em compressão) cai significativamente, o que serve de alerta para aplicações de maior exigência, devido ao risco de trincas nos moldes, fato que poderia levar a um vazamento de metal líquido. Do 2º ciclo em diante, a resistência mecânica apresentou resultados relativamente próximos um do outro, exceto para o 4º ciclo de fundição, cujo resultado sugere a existência de algum outro parâmetro que acabou interferindo no teste, resultando

nos valores observados para esse ciclo.

Para os testes apresentados na Figura 3, foram mantidas as proporções de resina sobre areia e de catalisador sobre resina. É sabido que, para um determinado percentual de resina, a resistência mecânica diminui com o aumento do percentual de areia reutilizada. Sabe-se, também, que é possível aumentar a resistência mecânica aumentando o percentual de resina. Uma solução para incrementar a resistência mecânica, a partir do 2º ciclo, seria o aumento do percentual de resina adicionado sobre a areia. No entanto, deve-se ter cautela, visto que a resistência mecâni-

ca passa a não apresentar mais alteração a partir de certo percentual de adição de resina. Além disso, grande quantidade de resina implicará, inevitavelmente, a geração de uma maior quantidade de gases, o que pode ocasionar alguns defeitos de fundição, como as porosidades em peças. Conforme citado por Silva et al. (2008), um teor de finos elevado favorece a redução da permeabilidade do molde, dificultando ainda mais a saída de gases. Como é esperado, com um aumento do teor de finos à medida que é realizada a reutilização de areia, a possibilidade de aprisionamento de gases é maior.

Figura 3
Resultados de resistência à compressão (A) e tração (B) obtidos para areia de cura a frio em função do ciclo de fundição.



Caracterização morfológica e microestrutural

Na Figura 4, podem ser visualizadas fotos das superfícies dos corpos de prova de tração, feitas através do estereomicroscópio, para amostras coletadas após consecutivos ciclos de reutilização, que proporcionam informações interessantes acerca da compactação dos grãos após a cura da areia.

Pode-se visualizar uma considerável mudança na geometria superficial dos grãos ao longo dos consecutivos ciclos de fundição. Os grãos, que inicialmente apresentavam geometria predominantemente arredondada (Figura 4A), passaram a apresentar morfologia muito mais irregular (Figura 4B). Adicionalmente, pode-se constatar uma considerável alteração no aspecto superficial, como se os grãos estivessem sendo degradados (erodidos) e se algo estivesse aderindo à sua superfície. Em função dessa alteração na morfologia dos grãos ao longo dos ciclos

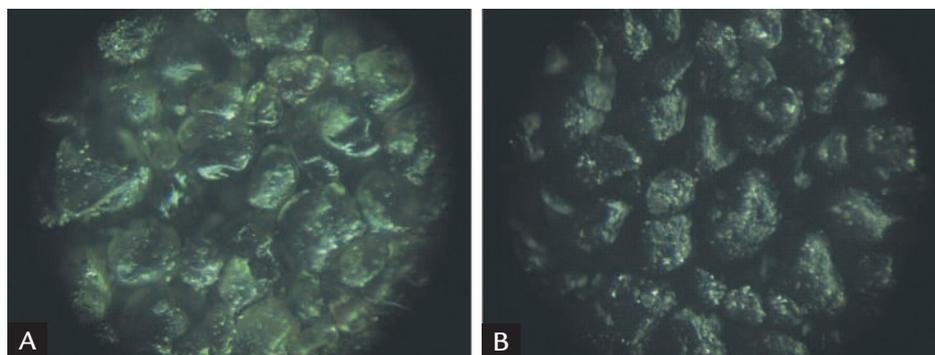
de fundição, parece que existe uma tendência de redução da área dos interstícios intergranulares.

Na Figura 5, podem ser visualizadas fotos dos grãos de areia “virgem” e após o 3º e 6º ciclos de fundição, respectivamente. O tamanho médio dos grãos, medido através de varreduras no microscópio ótico em 10 campos diferentes, para cada ciclo de fundição, manteve-se relativamente próximo. Foram obtidos como tamanho médio das partículas: 464µm (após 1º ciclo); 447µm (após 2º ciclo); 442µm (após 3º ciclo); 452µm (após 4º ciclo) e 505µm (após 6º ciclo). A dispersão dos resultados manteve-se também relativamente próxima ao longo dos consecutivos ciclos de fundição.

Percebe-se uma mudança expressiva no aspecto morfológico das partículas de areia ao longo dos consecutivos ciclos de fundição, o que

sugere que o ligante não esteja sendo “queimado” na sua totalidade quando exposto ao calor do metal líquido durante a fundição. Esse ligante acaba mantendo os grãos mais finos aderidos à superfície dos grãos maiores, fazendo com que as partículas apresentem a geometria irregular observada na Figura 5c. Isto justifica o que foi observado na Figura 3: após o 6º ciclo de fundição, o percentual retido nas peneiras de maior abertura (#30 e #40) é consideravelmente superior ao percentual retido nas peneiras de menor abertura (#50 em diante). Na Figura 6, pode-se visualizar fotomicrografias de grãos de areia após a realização da operação de destorroamento, feitas através de microscopia eletrônica de varredura, evidenciando a aglomeração de diminutas partículas à superfície dos grãos de areia originais.

Figura 4
Superfície dos corpos de prova de tração após 1º (A) e 6º (B) ciclos de fundição, respectivamente, com ampliação de 16X. Estereomicroscópio.



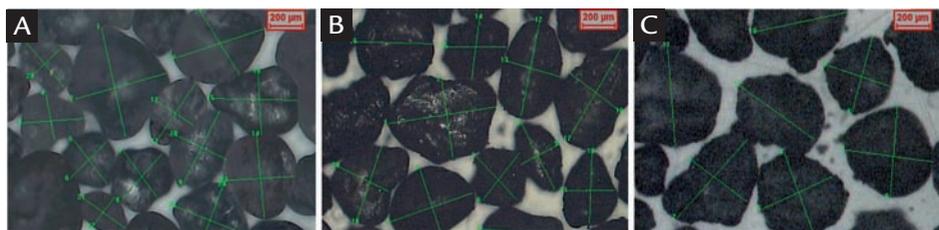


Figura 5
Grãos de areia:
(A) Virgem, antes do 1º ciclo de fundição.
(B) Após o 3º ciclo de fundição.
(C) Após o 6º ciclo de fundição.
Microscópio óptico.

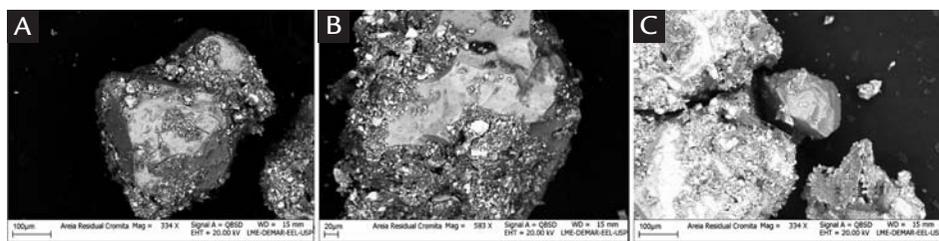


Figura 6
Exemplos de grãos de areia
após o destorroamento.
Microscópio eletrônico de varredura.

4. Conclusões

A resistência mecânica apresenta uma queda abrupta ao ser empregada uma mistura de areia “virgem/reutilizada” com 30% ou mais em peso de areia “reutilizada”. De uma maneira geral, a resistência reduz, consideravelmente, com o aumento da reutilização da areia de cura a frio.

Através do aumento do percentual de resina, conseguiu-se melhorar a utilização de areia recuperada, atingindo-se

resultados satisfatórios de resistência mecânica para traços elaborados com até 50% de areia recuperada.

Ficou evidente a existência de uma tolerância para a adição de resina, a partir da qual os resultados de resistência mecânica não sofrem quaisquer alterações.

Existe uma gradativa e sistemática agregação das partículas mais finas à medida que a areia de cura a frio é reutilizada.

Existe uma mudança significativa no aspecto superficial/morfológico dos grãos à medida que a areia é reutilizada. Como o tamanho médio dos grãos após a fundição ao longo dos 6 ciclos estudados manteve-se próximo, o residual de ligante (resina) entre os consecutivos ciclos de reutilização acabou promovendo a agregação de partículas diminutas à superfície dos grãos maiores.

5. Referências bibliográficas

- ABIFA. *CEMP-081 Materiais granulares usados em fundição - determinação da distribuição granulométrica e módulo de finura*. Comissão de Estudos de Matérias-Primas, ABIFA. Maio, 2003.
- ABIFA. *CEMP-182 Preparação da mistura padrão utilizando bate-deira planetária para o ensaio de resina cura a frio para a fundição*. Comissão de Estudos de Matérias-Primas, ABIFA. Março, 2003.
- ABIFA. *CEMP-060 Bentonita para fundição - determinação da resistência à compressão a verde da mistura-padrão*. Comissão de Estudos de Matérias-Primas, ABIFA. Novembro, 2003.
- ABIFA. *CEMP-162 Resina cura a frio para fundição - determinação da resistência à tração da mistura-padrão*. Comissão de Estudos de Matérias-Primas, ABIFA. Fevereiro, 2003.
- LOPES, E. J., FERREIRA, F. F., DEZENA, M. L. Sistema de recuperação de areias alcalinas de fundição. In: *Revista Fundição & Matérias Primas*, Caderno Técnico, 2004. p.48-59.
- MAHANTI, R., BHATTACHERJEE, V., MUKHEERJEE, S. K. Cultura da indústria de fundição sustentável, uma perspectiva ambiental. In: *Revista Fundição & Matérias-Primas*, (60 Ed.), julho/agosto de 2004. p.10-14.
- OKIDA, J. R. *Estudo para minimização e reaproveitamento de resíduos sólidos de fundição*. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006. (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção).
- SILVA, C. E., JÚNIOR, A.R., JÚNIOR, L. C. S., PEREIRA, C. L. L. Reutilização de areia de cura a frio no processo de fundição como alternativa para a redução de resíduos - resultados preliminares. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 63. *Anais...* Santos - SP: ABM, 2008. p. 3152-3164.
- U. S. Environmental Protection Agency (2007) *Foundry Sands Recycling*. EPA530-F-07-018. www.epa.gov/wastes/conservation/rrr/foundry/foundry-st.pdf
- U. S. Environmental Protection Agency (2004) *Foundry Sand Facts for Civil Engineers*. FHWA-IF-04-004. <http://isddc.dot.gov/OLPFiles/FHWA/011435.pdf>