



## **Avaliação de areia fenólica usada de fundição regenerada em escala industrial por método mecânico**

**Carlos Alberto Mendes Moraes<sup>1</sup>, Daiane Calheiro<sup>2</sup>, Daniel Canello Pires<sup>3</sup>, Suzete Schneider Nunes<sup>4</sup>, Giovane Lorscheitter<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Universidade do Vale do Rio dos Sinos (cmoraes@unisinos.br)

<sup>2</sup>Universidade do Vale do Rio dos Sinos (dcalheiro@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade do Vale do Rio dos Sinos (dpires88@hotmail.com)

<sup>4</sup>Universidade do Vale do Rio dos Sinos (suzi.schneider@gmail.com)

<sup>5</sup>Indústria Metalúrgica Lorscheitter (glorscheitter@terra.com.br)

### **Resumo**

Os custos financeiros e ambientais com o descarte de areias de moldagem de fundição em aterros industriais têm aumentado significativamente, na medida em que grandes quantidades de areia são consumidas para a produção de moldes e machos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar, através de caracterização física e química, o método de regeneração mecânica aplicado à areia fenólica usada de fundição. A areia amostrada originou-se do processo de moldagem de areia com resina fenólica alcalina que posteriormente foi submetida a um processo de destorroamento e regeneração mecânica. Foram realizadas amostragens de areias provenientes de três pontos diferentes do processo de regeneração. Através dos resultados das análises de caracterização física e química, observou-se que o coeficiente de distribuição, o teor de finos e a perda ao fogo sinalizam que o equipamento de regeneração mecânica utilizado na empresa de fundição, necessita ajustes de programação ou do método adotado, para que se aumente a eficiência da regeneração e agregue qualidade à areia regenerada, obtendo ganhos econômicos e ambientais no processo e no produto.

Palavras-chave: Regeneração Mecânica. Fundição. Areia Fenólica. Granulometria. Perda ao Fogo.

Área Temática: 13 – Tecnologias Limpas.

### **Abstract**

*The financial cost and environmental disposal of foundry molding sand in landfills have increased substantially, in that large amounts of sand are consumed to produce molds and cores. This study aimed to evaluate, through physical and chemical characterization, the regeneration method applied to mechanical phenolic sand used in casting. The sand sampled originated from the process of molding sand with alkaline phenolic resin which was subsequently subjected to a regeneration process and mechanical lump breaking. Sand samples were collected from three different points of the regeneration process. Through the results of analysis of physical and chemical characteristics, it was observed that the distribution coefficient, the content of fines loss on ignition and the signal regeneration equipment used for mechanical foundry, programming needs adjustment or the method used, order to increase the regeneration efficiency and add quality to the regenerated sand, obtaining economic and environmental gains in the process and product.*

*Key words: Mechanic Regeneration. Foundry. Phenolic Sand. Granulometry. Fire Loss.*

*Theme Area: 13 – Clean Technology.*



## 1. Introdução

As exigências da legislação ambiental têm levado muitas fundições a aumentarem os seus custos financeiros com o descarte de areias de moldagem em aterros especializados. Nas fundições, de uma maneira geral, são consumidas grandes quantidades de areia para a produção de moldes e machos. Sua utilização é feita por intermédio de diferentes processos: moldagem em areia verde, shell, cura a frio e outros. Cada um deles possui suas peculiaridades e vantagens frente às necessidades da característica de produto que se quer obter. Os tipos de resíduos gerados e os processos de recuperação, regeneração ou descarte também apresentam particularidades.

Conforme Moraes et al. (2009), procurar meios para minimizar a geração e valorizar este resíduo para reuso na própria fundição ou em outros processos produtivos contribui para minimizar os impactos ambientais negativos e aumenta a vida útil de aterros industriais.

Os custos associados à disposição final em aterros industriais, atualmente exigido pelos órgãos ambientais, faz com que as empresas busquem alternativas ambientalmente mais adequadas de gerenciamento dos excedentes de areia usada. A destinação a usos alternativos e, principalmente, a regeneração passam a ser economicamente viáveis (d'AVILLA FILHO, 2009).

De acordo com Garpar *et al.* (2007), diversos métodos de tratamento de areias usadas de fundição têm sido implementados e estudados, como os processos de recuperação (destorroamento, separação magnética, resfriamento e classificação granulométrica – típico em todas fundições), regeneração mecânica a úmido e a seco, térmica e termo-mecânica.

Regeneração é definida como um tratamento físico, químico ou térmico de um agregado refratário até permitir seu reuso sem perda significativa de suas propriedades originais, como requerido pela aplicação. Para atingir este objetivo, deve ser avaliada o tipo de areia que entra no sistema de regeneração, o tipo de resina utilizado, e a área para seu reuso (GASPAR *et al.*, 2007).

A necessidade da reciclagem e/ou regeneração da areia fenólica baseia-se no fato de que o tipo de resina adicionada a esta areia contém compostos que são classificados pela NBR 10004/2004 como Resíduo Classe I – Perigosos conferindo periculosidade ao resíduo e cujo descarte poderá causar sérios problemas ao meio ambiente, como a contaminação do lençol freático.

Entre os processos para a recuperação desse tipo de areia, está a recuperação mecânica (SCHEUNEMANN *et al.*, 2004). O processo consiste basicamente em choques das partículas de areia com resina contra uma placa metálica fixa. Esses choques trazem consigo a característica não desejável da degradação da areia, pois os choques da partícula acabam auxiliando na cominuição, retirando a mesma da faixa granulométrica ideal para a confecção dos moldes. O descarte dessa areia varia com alguns fatores e, no geral, gira em torno de 20% a 30% do total de areia utilizada (SCHEUNEMANN *et al.*, 2004).

Scheunemann (2005) também define uma areia como regenerada quando suas características permitem utilizá-la em substituição a areia nova em qualquer das situações em que se utilizava esta matéria prima. A regeneração de uma dada areia usada consiste de uma seqüência de tratamentos específicos ou operações unitárias, compreendendo as seguintes etapas:

- Desagregação de torrões e grumos, ou seja, liberação dos grãos individuais da areia, etapa sempre necessária; em muitos casos corresponde aproximadamente ao que se definiu anteriormente como recuperação.
- Remoção dos resíduos metálicos, seja na forma de óxidos, seja na forma de gotas.



- Limpeza superficial dos grãos, ou seja, remoção dos resíduos de aglomerantes, aditivos e seus produtos de decomposição aderidos aos grãos.
- Classificação da areia regenerada, de modo a restabelecer a granulometria desejada.

Dentre estas etapas citadas, a que mais chama atenção no que se refere aos objetivos do presente trabalho é a que define a necessidade de classificação da areia já regenerada, para que se aproxime dos padrões de granulometria e perda ao fogo da areia nova, com a intenção de não ocorrer baixa qualidade do produto final e consequentes perdas econômicas e ambientais pela refusão de peças.

Através desta dependência entre economia, meio ambiente e tecnologia, o fator qualidade vem se destacando cada vez mais, mostrando a importância do estudo e detalhamento de todos os processos envolvidos em qualquer setor de produção. Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar o método de regeneração mecânica aplicado à areia fenólica usada de fundição, através de caracterização física e química.

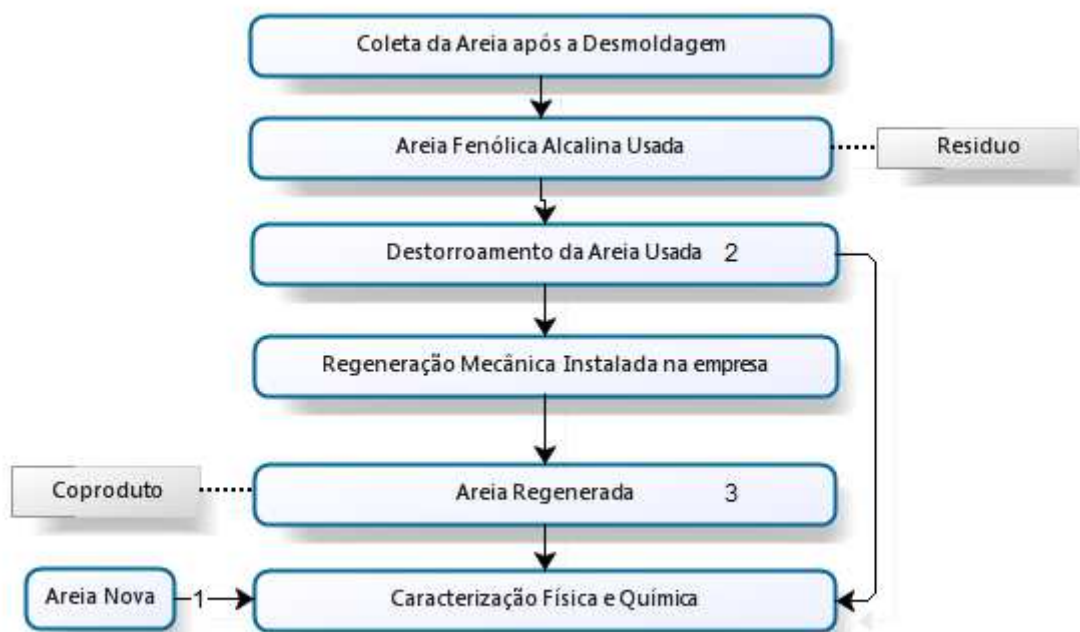
## 2. Metodologia

A areia usada, gerada no processo de fundição e testada através de regeneração mecânica, teve origem no processo de moldagem em areia com resina fenólica alcalina para obtenção de peças de ferro fundido.

Para se avaliar o método de regeneração mecânica utilizado em uma fundição do Vale do Rio dos Sinos, foram realizadas coletas de amostras das seguintes areias: 1 - areia base (areia de sílica obtida em lavras locais) utilizada para a fabricação de moldes; 2 - areia destorroada (torrões de areia + resina + catalisador, quebrados em peneira vibratória após a desmoldagem dos moldes com as peças solidificadas); e 3 - areia regenerada (areia destorroada regenerada mecanicamente) que volta para o processo de moldagem para fabricação de novos moldes. Este sistema de regeneração instalado na empresa consiste em um processo mecânico por impacto.

A metodologia utilizada para este estudo está apresentada na Figura 1.

Figura 1- Fluxograma da caracterização das areias fenólicas alcalinas.





Para o processo de regeneração mecânica houve a necessidade de destorroar a areia antes de colocá-la no regenerador (2). O destorroamento pode ser considerado como uma atrição primária onde os torrões são fragmentados em partes menores que passam a seguir por uma operação de peneiramento, que tem o objetivo de remover materiais metálicos e outras impurezas ainda presentes. Em seguida a areia destorroada segue para o regenerador mecânico.

O regenerador instalado na empresa utiliza o processo por impacto, onde a areia é arremessada em uma placa de metal com velocidade suficiente para quebrar as partículas (areia + resina) e posteriormente ocorre o peneiramento para remoção dos aglomerados não regenerados.

Após a obtenção da areia regenerada via tratamento mecânico, as amostras foram caracterizadas em termos de granulometria (distribuição granulométrica, módulo de finura e percentual de finos) e perda ao fogo, nos laboratórios de Caracterização e Valorização de Materiais, e de Fundição e Areias, da UNISINOS, respectivamente. Estas análises foram realizadas de acordo com a Comissão de Estudos de Matérias-Primas - CEMP.

A norma CEMP\_081- Determinação da distribuição granulométrica e módulo de finura (CEMP\_081, 2003) consiste em peneirar uma determinada quantidade de amostra em 12 peneiras com abertura de malhas entre 4,8mm e 0,053mm acompanhadas de fundo coletor e tampa, de modo que o percentual retido de material em cada peneira seja o resultado da distribuição granulométrica, em porcentagem.

O coeficiente de distribuição é a soma das três peneiras consecutivas que mais apresentam material retido. A sua distribuição granulométrica com mais de 50% e menos de 70% de grãos retidos em três peneiras consecutivas da série padrão, resulta em melhor permeabilidade e baixa expansão (RUBIO et al, 2006).

Denominam-se finos ao valor percentual retido nas duas últimas peneiras (0,075 e 0,053 mm), mais o fundo.

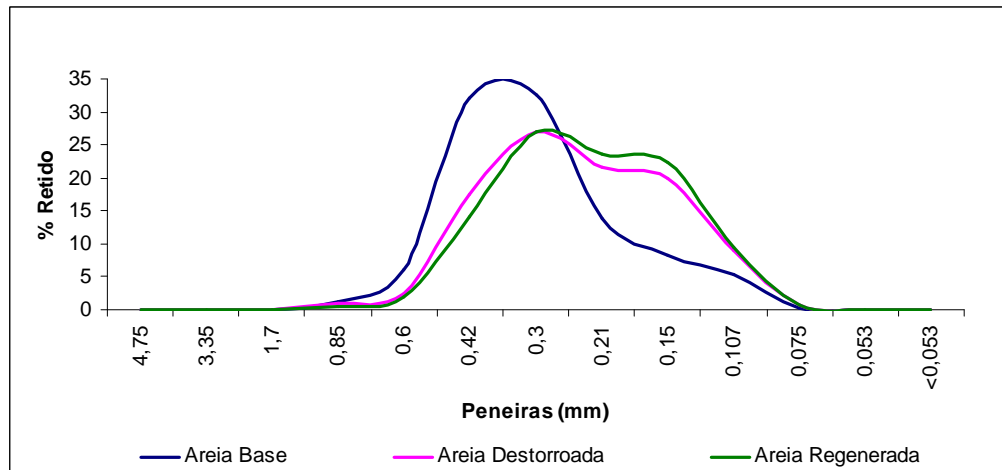
O módulo de finura corresponde ao valor resultante da soma da percentagem retida acumulada nas peneiras da série normal citadas anteriormente, divididas por 100. O módulo de finura quantifica se a areia é mais grossa ou mais fina, sendo que quanto maior o módulo de finura mais grosso é o material (MORAES, 2009).

A norma CEMP\_120 - Determinação da perda ao fogo - também é obtida em forma de porcentagem. Esta análise determina o teor de materiais orgânicos e da água de cristalização contidos no material, por meio de queima, decomposição e eliminação desses materiais a uma temperatura entre 900/980°C., a fim de prevenir defeitos causados por gases (CEMP\_120, 2003).

### 3. Resultados

As distribuições granulométricas das areias estão apresentadas na Figura 2, que relaciona as amostras de areia base, areia destorroada e areia regenerada.

Figura 2: Distribuição granulométrica das areias de fundição



Analisando o gráfico, observa-se que a granulometria da areia regenerada (traço verde) se assemelha muito ao das areias destorroadas (traço rosa). Quando se compara a amostra de areia regenerada com a areia base, nota-se que há uma tendência da faixa granulométrica da areia regenerada diminuir, isto pode estar relacionado à quebra dos grãos, aumentando assim a porcentagem de finos na amostra. Portanto, em relação aos resultados obtidos no teste de granulometria, pode-se deduzir que o processo de regeneração necessita ser reavaliado, pois a faixa granulométrica da areia regenerada está muito semelhante ao da areia destorroadada.

Na Tabela 1, são apresentados o módulo de finura, teor de finos, e coeficiente de distribuição granulométrica das areias estudadas.

Tabela 1: Resultados do módulo de finura, teor de finos e coeficiente de distribuição da areia destorroadada com finos.

	Areia Base	Areia Destorroadada	Areia Regenerada
Coefficiente de distribuição (%)	78,32	68,66	72,79
Teor de Finos (%)	0,29	0,86	0,74
Módulo de finura (ABNT)	21,31	26,01	26,78

Avaliando as areias em relação ao parâmetro *coeficiente de distribuição* apresentado na tabela e comparando com a faixa ideal para uso em fundição que fica entre 50% e 70%, observa-se que somente a areia destorroadada ficou dentro desta faixa. Ressalta-se que a areia base também não se enquadra no padrão estabelecido. A tabela mostra que tanto o coeficiente de distribuição da areia base quanto o da areia regenerada estão acima do padrão citado por Rubio *et al.* (2006). Este diz que as areias que possuem altas concentrações granulométricas, apresentam alta permeabilidade pelo grande número de espaços intergranulares geralmente vazios, afetando diretamente a qualidade do produto final.

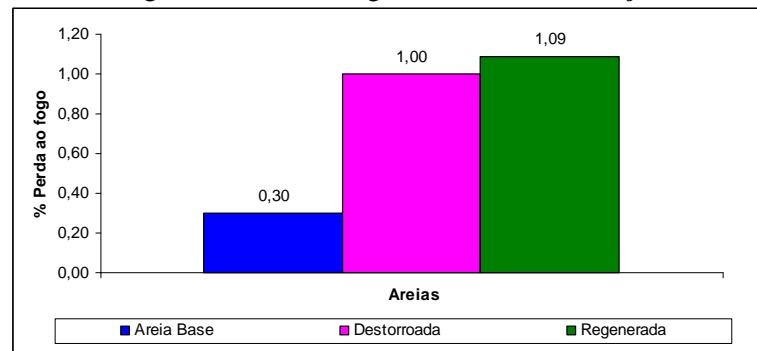
O teor de finos indica a permeabilidade da areia, portanto quanto maior a quantidade de finos menor é permeabilidade. Ao analisar os valores obtidos na Tabela 1, observa-se que há uma diferença entre os teores de finos da areia base com as areias destorroadada e regenerada. Como a intenção é comparar os valores da areia regenerada aos da areia base, pode-se dizer que o teor de finos da areia regenerada está aproximadamente 157% maior que a areia base.



Analisando o módulo de finura das amostras de areia regenerada e da areia base (Tabela 1), observou-se um acréscimo de aproximadamente 26% na areia regenerada em relação à areia base, sendo este parâmetro diretamente relacionado ao aumento do tamanho do grão.

O gráfico (Figura 3) apresenta a perda ao fogo das amostras de areia base, destorroada e regenerada.

Figura 3: Perda ao fogo das areias de fundição



Analisando o gráfico de perda ao fogo (Figura 3), pode-se observar que a areia destorroada e a areia regenerada se assemelham. Considerando-se que a perda ao fogo é basicamente a quantidade de matéria orgânica existente em uma amostra, os resultados tendem a indicar uma baixa remoção de resina do lote de areia regenerada. O processo de atrição deveria fazer com que a camada de resina aderida à superfície do grão de areia quebrasse, fazendo com que parte fosse carregada pelo sistema de exaustão com os finos gerados no processo. Apesar da perda ao fogo dos finos extraídos pelo sistema de exaustão ter variado entre 8,16 e 26,64% em 3 amostragens, isto não se confirma na perda ao fogo da areia regenerada que deveria ser menor que a destorroada. Algumas hipóteses podem ser levantadas, a geração de finos é pequena por ineficiência de atrição do processo, ou pela não remoção dos finos de resina pela exaustão, ficando acumulados no equipamento e sendo carregados pela areia regenerada ao final do processo.

A granulometria da areia regenerada similar ao da destorroada pode ser também um indicativo de que o processo de regeneração por atrição não está conseguindo separar alguns grãos ligados com resina, o que confirmaria os teores de perda ao fogo similares encontrados, reforçando a hipótese de ineficiência do processo de atrição. Conforme Moosher e Moraes (2010) mostraram, realizando estudo de regeneração mecânica em laboratório, ao separar as peneiras finais (última malha e fundo) após classificação granulométrica, observou-se na perda ao fogo um teor menor que no material destorroado, confirmando a remoção da resina concentrada nestas peneiras como finos, assim como a granulometria se aproximou bem mais da areia base. Estes fatos indicam possível ineficiência do sistema de regeneração utilizado, o que pode ser explicado por uma desconfiguração do equipamento ou pela utilização de uma técnica insuficiente para o tratamento do material com as características particulares deste processo, o que afeta econômica e ambientalmente a empresa. Neste sentido, um protótipo está sendo contruído em laboratório utilizando outra técnica de atrição para validar um equipamento industrial a ser instalado na empresa futuramente. Aliado a este, também um protótipo de regeneração térmica está sendo projetado, pois ampla literatura vem colocando que a eficiência de remoção se dá pela combinação dos dois métodos.



## 4. Considerações Finais

Através dos resultados das análises de caracterização física e química, observou-se que tanto o coeficiente de distribuição de teor de finos quanto à perda ao fogo indicaram que o equipamento mecânico utilizado na empresa de fundição necessita ajustes para aumentar a eficiência da regeneração. Por outro lado, diversos autores citam a eficiência de processos de regeneração termomecânica de areias com resinas orgânicas, que podem atingir 100% de remoção das resinas, permitindo um reaproveitamento do material em maior quantidade e qualidade, já que as partículas de areia não sofreriam alteração granulométrica tão significativa quanto no caso de somente o regenerador mecânico. A utilização deste ou outros processos de regeneração, de forma isolada ou concomitante, pode aumentar a eficiência da regeneração, agregando qualidade ao material.

Desta forma, ao se aperfeiçoar e adaptar métodos de regeneração de areias às características dos processos produtivos e resíduos gerados obtém-se ganhos significativos economicamente, já que se agrega qualidade ao produto evitando perdas e retornos, além do ganho ambiental envolvido na reutilização de um material de qualidade beneficiado e disponível no processo em substituição à utilização de recursos naturais não renováveis e ocupação de aterros.

### Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2004. NBR 14001 – Sistema de Gestão Ambiental – Requisitos com orientação para uso. São Paulo, ABNT, 27 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) N° 081: Materiais para fundição – Determinação da Distribuição Granulométrica. ABIFA, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) N° 120: Materiais para fundição – Determinação da Perda ao Fogo. ABIFA.

D'AVILA FILHO, B.M. Relatório Técnico 61 Perfil da Fundição. Banco Internacional Para a Reconstrução e Desenvolvimento. BIRD. Ministério De Minas e Energia. MME. 2009

GASPAR, R. C.; CALHEIRO, D.; OLIVEIRA, K. R.; BREHM, F. A.; MORAES, C. A. M.. Caracterização de Areia de Fundição via Tratamento de Regeneração Termo-Mecânico. In: 63º Congresso Anual da ABM, pp. 3713-24, São Paulo, 2007. Brasil. **Anais do 63º Congresso Anual da ABM**. São Paulo, 2007.

MOOSHER, L.; MORAES, C. A. M. Regeneração de Areia de Fundição por Método Termo-Mecânico. 2010, Rio de Janeiro. In: **Anais do 65º Congresso da ABM**. São Paulo : ABM, 2010. v. 1. p. 3454-3464.

MORAES, C.A.M., **Polígrafo de Fundição** – Disciplina: Fundição – 63. UNISINOS. 2009.

MORAES, C.A.M.; et. al. Minimização da Geração de Resíduos em Pequenas Fundições: Limitações e Avanços. V FÓRUM INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA .16 a 17 de junho de 2009. Porto Alegre. RS.



RUBIO, J. C. C.; PANZERA, T. H.; NNOGUEIRA, W. A.” Qualidade Superficial de Peças de Alumínio Fundidas em Molde de Areia”. **Revista Matéria**, v. 11, n. 2, pg.. 125 – 137, 2006.

SCHEUNEMANN R.; et al. Recuperação Térmica de Areias fenólicas utilizada em moldes de fundição: resultados preliminares do estudo de viabilidade econômica. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. ICTR 2004. Costão do Santinho. SC.

SCHEUNEMANN, R. Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo fenton. 2005. 71 f. Dissertação Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em <[www2.enq.ufsc.br/teses/m130.pdf](http://www2.enq.ufsc.br/teses/m130.pdf)>. Acesso em 15 dez. de 2011.