



# REGENERAÇÃO DE AREIA DE FUNDIÇÃO POR MÉTODO TERMO-MECÂNICO<sup>1</sup>

Leandro Moosher<sup>2</sup>  
Carlos Alberto Mendes Moraes<sup>3</sup>

## Resumo

A necessidade de regeneração da areia quimicamente ligada, usada pela indústria de fundição, ocorre principalmente em função do crescente custo da disposição desse resíduo em aterros industriais, da aquisição de areia nova no processo e, pela diminuição dos recursos naturais não-renováveis. A resina, utilizada para garantir a ligação entre os grãos de areia na confecção dos machos, é responsável pela classificação como resíduo perigoso dos machos refugados. A regeneração é o tratamento dado à areia usada para remover a capa de resina aderente na superfície do grão, reconduzindo-a ao mais próximo possível da condição de areia nova. Amostras de areia Shell proveniente do refugio de macharia foram tratadas através de regeneração termo-mecânica. A sequência experimental foi o destorroamento da areia usada, a regeneração mecânica, e por fim a regeneração térmica. A seguir os produtos foram caracterizados em termos de granulometria, perda ao fogo, morfologia e limpeza dos grãos via microscopia eletrônica de varredura. Os resultados da combinação regeneração mecânica mais a térmica mostraram que o processo realizado é eficaz para se conseguir uma completa limpeza dos grãos de areia. Este processo pode ser caracterizado como reciclagem interna, obedecendo às premissas de um programa de produção mais limpa.

**Palavras-chave:** Areia usada de fundição; Macharia; Regeneração.

## REGENERATION OF FOUNDRY SAND VIA THERMO-MECHANICAL TREATMENT

### Abstract

The need of used chemical bonded sand regeneration from foundry industry occurs, specially, because of the increasing cost of this waste deposition in industrial land field, the use of new sand to the molding processes, and the decrease of non renewable natural resources. The regeneration is a treatment to remove from the used sand the resin layer adhered on the sand grain surface. In such way, it is possible to obtain cleaned sand closed to the new one. In this work, alkaline phenolic resin based sand was treated. The experimental sequence was brittlement of used sand, mechanical and thermal regeneration. The products were characterized via fire loss technique, morphology and grain cleanness using electron scanning microscope. The combination of mechanical and thermal regeneration showed to be the most adequate to obtain a complete cleanness of the sand grains. This process may be considered as internal recycling, obeying the premises of cleaner production program.

**Keywords:** Foundry used sand; Phenolic resins; Regeneration; Cleaner production.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Aluno de Graduação - Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS. Av. Unisinos, 950 - São Leopoldo/RS, Brasil, CEP 93022-000. , e-mail: leandromoosher@hotmail.com

<sup>3</sup> Membro da ABM, Prof. Dr. – PPG Engenharia Civil- Núcleo de Caracterização de Materiais - UNISINOS. , e-mail: cmoraes@unisinos.br



## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o impacto ambiental dos resíduos sólidos gerados nas unidades fabris brasileiras tem aumentado consideravelmente. Diversas indústrias brasileiras estão adotando sistema de gestão ambiental visando à certificação ISO 14001. A tendência de gerenciamento ambiental tem evoluído em função da regulamentação mundial estabelecida para as questões de desenvolvimento sustentável, de forma a substituir as alternativas corretivas por medidas preventivas. A diminuição da geração de resíduos e a reciclagem e/ou regeneração dos mesmos resíduos constituem práticas consideradas básicas e necessárias, atingindo objetivos de natureza ambiental e econômica, através da redução de consumo de materiais e economia de taxas de disposição em aterros industriais.

Entretanto, o principal agente estimulador é o fator econômico, redução de despesas com a compra de matérias-primas e insumos, gastos com o descarte, o tratamento de resíduos e transporte.

A indústria de fundição, apesar de aplicar em seu processo grandes quantidades de materiais metálicos reciclados, possui como um dos principais excedentes de seu processo de fabricação as areias residuais dos sistemas de moldagem e macharia, as quais não são classificadas como materiais inertes para a disposição.<sup>(1)</sup> As exigências da legislação mundial têm levado muitas fundições a aumentarem seus gastos com o descarte de areias de moldagem em aterros industriais. 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, caixa quente, cura a quente e outros. Cada um deles possui suas peculiaridades e vantagens frente às necessidades do produto. Os tipos de resíduos gerados e os processos de recuperação, regeneração ou descarte também apresentam particularidades. A areia utilizada, em grandes quantidades na confecção dos moldes, destaca-se por ser o resíduo mais gerado numa fundição de moldagem em areia, chegando a um percentual na ordem de 90% em massa de todo resíduo gerado.<sup>(1)</sup>

Diversos métodos de tratamento de areias usadas em fundição têm sido implementados e estudados, como os processos de recuperação (destorroamento, separação magnética, resfriamento e classificação granulométrica típico em todas as fundições), regeneração mecânica a úmido e a seco, térmica e termo-mecânica.<sup>(1-8)</sup>

A regeneração de areia de fundição é o processo onde as areias de moldagem e macharia recuperam quase que totalmente as características de uma areia nova, podendo substituir total ou parcialmente a areia nova e consiste no tratamento físico, químico ou térmico de um agregado refratário para permitir sua reutilização sem significativa perda das propriedades originais na aplicação envolvida.

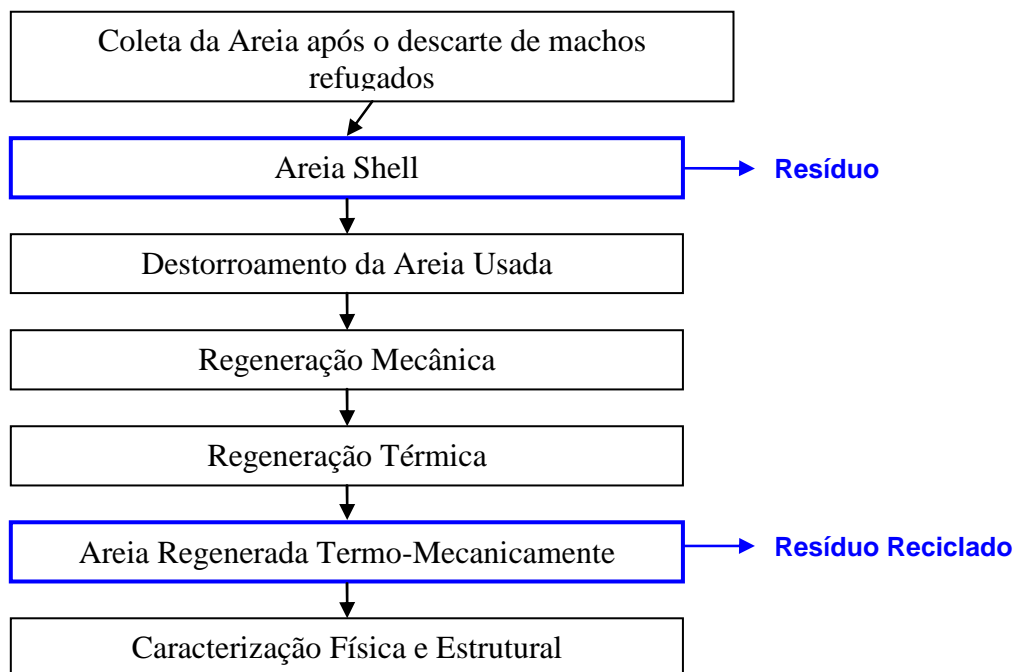
Para atingir este objetivo, deve-se avaliar o tipo de areia que entra no sistema de regeneração, o tipo de resina utilizado e a área para a qual se destina a sua reutilização. O processo de regeneração não deve ser confundido com a recuperação da areia, que consiste na re-introdução da areia usada no próprio sistema, sendo necessária apenas a aplicação de operações de desagregação de grumos, remoção de finos e materiais metálicos. As propriedades tecnológicas de reaplicação do material são funções das características físico-químicas do agregado base que é regenerado, as quais são definidas pelo tipo de processamento aplicado.<sup>(4)</sup>

O regenerado deve substituir tanto quanto possível a areia nova. Contudo, o processo de regeneração pode gerar resíduos descartáveis, em quantidades que

dependem fundamentalmente da qualidade exigida do regenerado, onde estas perdas devem ser compensadas com areia nova no novo processo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A areia usada testada através da regeneração mecânica e térmica foi uma areia do processo de moldagem em areia Shell proveniente de uma fundição gaúcha. A metodologia usada no desenvolvimento experimental é mostrada na Figura 1.



**Figura 1** - Fluxograma da metodologia experimental.

Tanto na regeneração mecânica, como na regeneração térmica houve a necessidade de se destorroar a areia antes de colocá-la no regenerador. O destorroamento é uma atrição primária onde os torrões passam por uma operação de peneiramento.

Em seguida, a amostra passou para a regeneração mecânica com uma atrição secundária entre os grãos de areia. O protótipo do regenerador, mostrado esquematicamente na Figura 2, foi desenvolvido e está instalado no laboratório de fundição da Unisinos, onde foram realizados ensaios com diferentes velocidades e tempos de permanência.

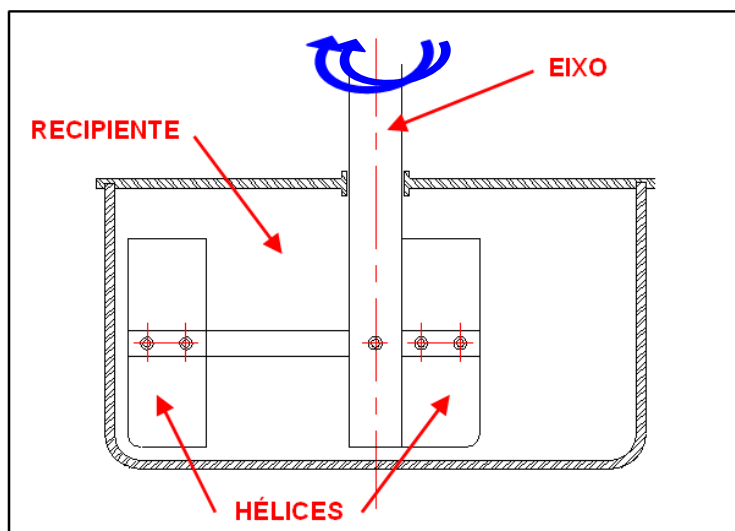


Figura 2 - Desenho esquemático do regenerador mecânico.<sup>(3)</sup>

Foram regeneradas mecanicamente quatro amostras da areia Shell, com as seguintes velocidades e tempos:

- 406 RPM – 30 minutos;
- 406 RPM – 90 minutos;
- 828 RPM – 30 minutos; e
- 828 RPM – 90 minutos.

Visando otimizar as condições da regeneração térmica, foram realizadas análises termogravimétrica e térmica diferencial (Figura 3) com o intuito de definir a temperatura do processo de calcinação. Através destas análises observou-se que a temperatura de decomposição da matéria orgânica ocorre no ponto próximo de 600°C. Após esta prévia, com a temperatura já definida pelas análises térmicas, as amostras foram para a regeneração térmica em um forno tipo mufla. Foram ensaiados tempos de 15 minutos, 30 minutos, 60 minutos e 90 minutos de permanência no regenerador, e através da perda de massa foram definidos os parâmetros do tratamento para esta etapa da regeneração.

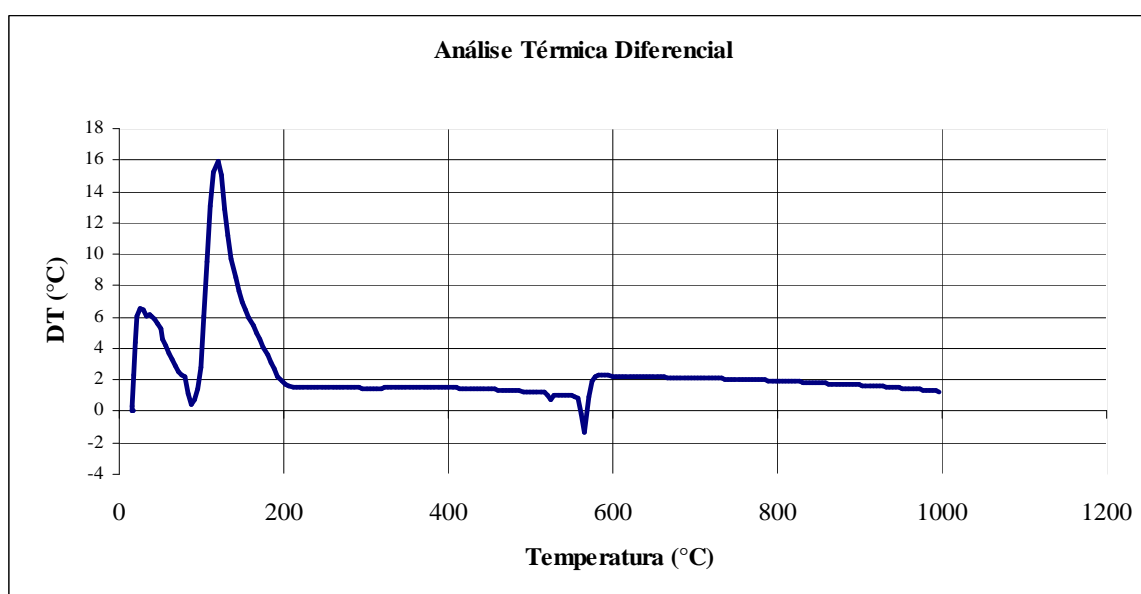


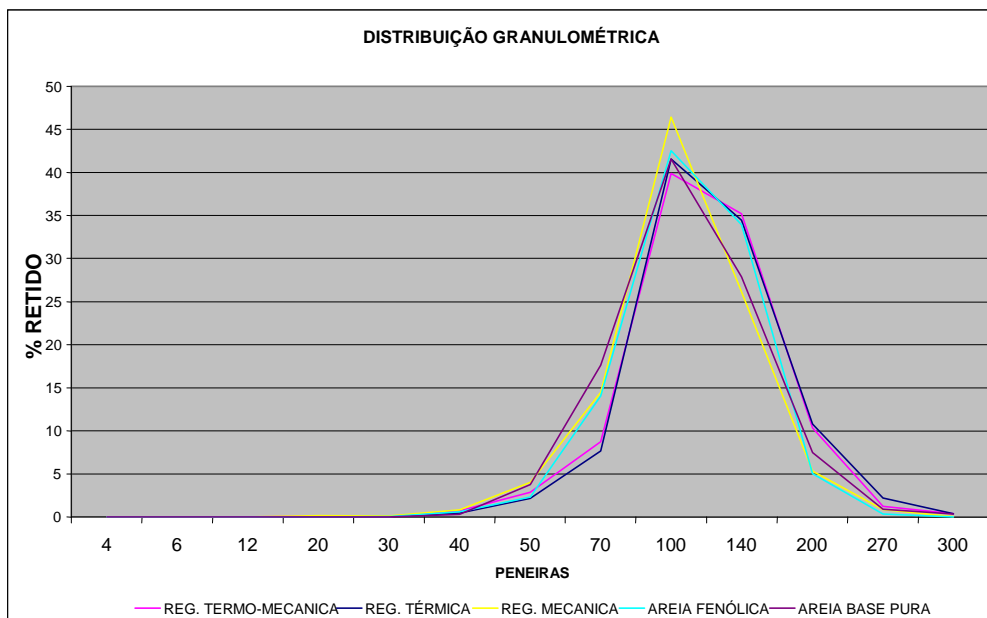
Figura 3 - Análise térmica diferencial no resíduo (areia Shell proveniente de macharia).

Após conclusão dos ensaios de regeneração mecânica e regeneração térmica separadamente, as diferentes amostras foram caracterizadas em termos de granulometria (distribuição granulométrica, módulo de finura e percentual de finos) e perda ao fogo. Todos esses ensaios foram realizados visando encontrar os melhores resultados das regenerações citadas, para posteriormente executar um ensaio de regeneração termo-mecânica. Esses ensaios foram realizados nos laboratórios de Construção Civil e de Fundição da UNISINOS. Estas análises foram realizadas de acordo com a Comissão de Estudos de Matérias-Primas - CEMP. A verificação superficial, tanto morfológica e grau de limpeza dos grãos, foram realizados via microscópio eletrônico de varredura (MEV) no laboratório de microscopia do SENAI – CETEMP.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

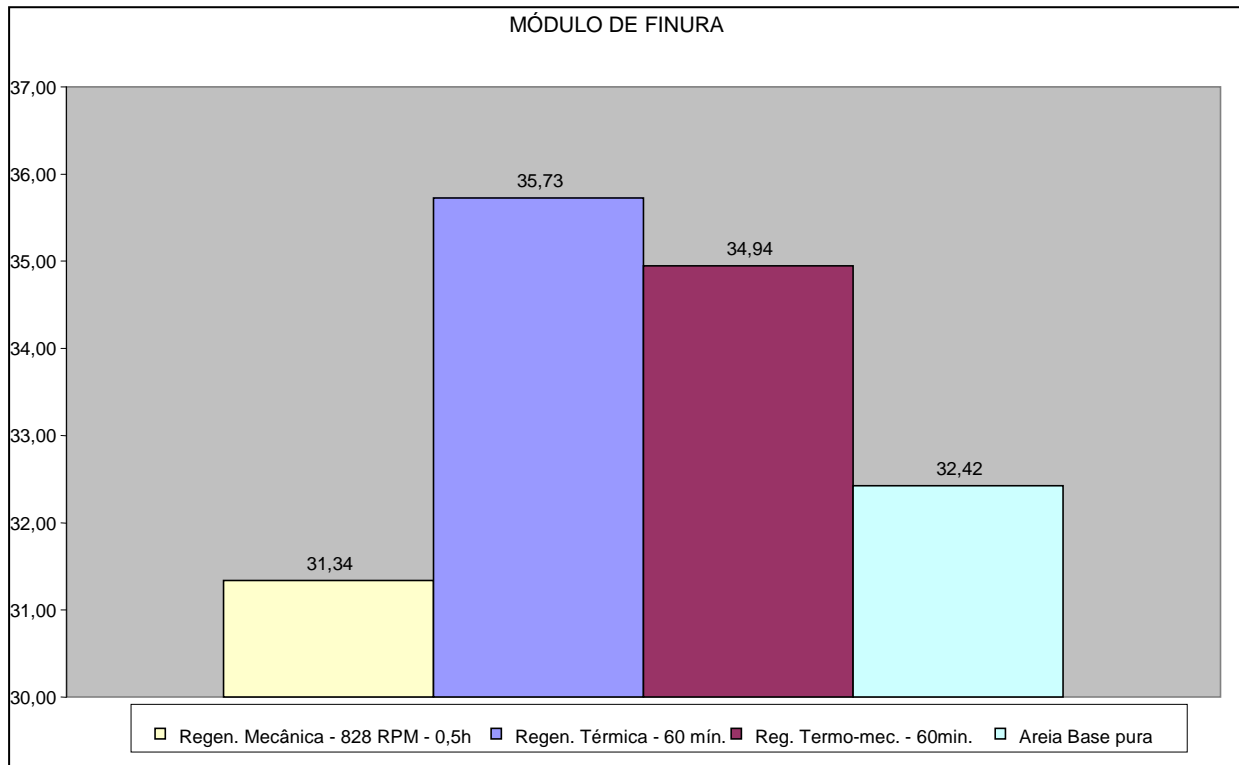
#### 3.1 Caracterização Granulométrica

Os resultados granulométricos mostraram uma grande semelhança entre quase todos os ensaios. Na distribuição granulométrica pode-se observar que as linhas se mantiveram praticamente na mesma posição, com exceção da regeneração termo-mecânica e térmica entre as peneiras 50 e 70 e a regeneração termo-mecânica e a areia fenólica na peneira 140, que se distanciaram um pouco das demais amostras. A regeneração mecânica tem um percentual de retenção diferenciado dos demais na peneira 100. Com isso, é mostrado que as diferenças dos tratamentos de regeneração são, na maioria dos casos, pequenas e não há grande influência na distribuição granulométrica da areia Shell usada em macharia regenerada e a areia fenólica comparando com a areia base nova.



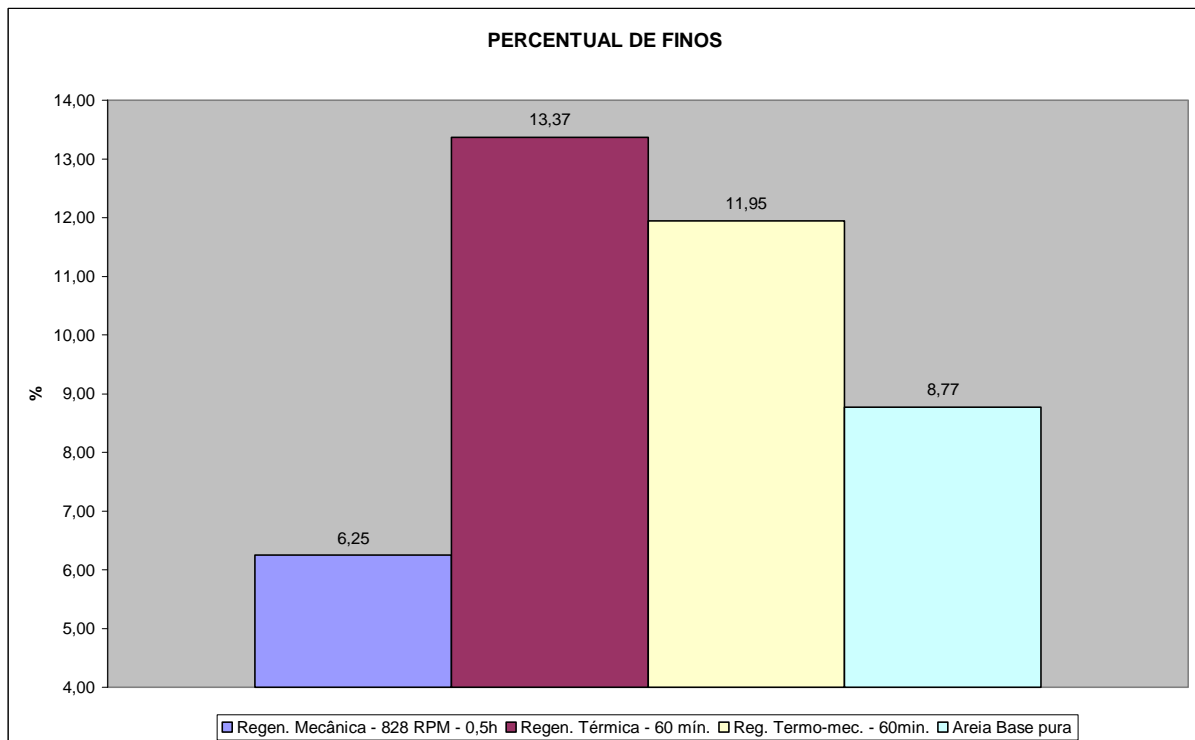
**Figura 4 - Caracterização granulométrica.**

Com relação ao módulo de finura, é mostrado na Figura 5 que a regeneração mecânica apresenta um resultado muito próximo do valor da areia base, assim como a regeneração termo-mecânica. Essa, entretanto, apresenta o valor um pouco acima da areia base, mas ambos estão dentro de uma faixa aceitável de tolerância.



**Figura 4 -** Módulo de Finura (AFS) das amostras regeneradas em comparação com a areia base.

Já para o percentual de finos (Figura 6), os resultados são similares com os do módulo de finura, onde novamente a regeneração mecânica e termo-mecânica são as que mais se aproximam do valor da areia base. Nota-se que a diferença desses percentuais comparados a areia base é em torno de 2% a 3%, o que é considerado um bom resultado.



**Figura 6 -** Percentual de Finos das amostras regeneradas em comparação com a areia base.



### 3.2 Perda ao Fogo

Nesta análise foram ensaiadas amostras de todas as etapas dos processos de regeneração mecânica, térmica e termo-mecânica, bem como a areia fenólica e a areia base pura, que é utilizada no processo de moldagem.

Pode-se observar na Figura 7 que a areia fenólica que não sofreu tratamento, apresentou alto percentual de perda ao fogo, o que já era esperado devido a sua composição conter de 2% a 5% de resina fenólica além de algum material orgânico.

O resultado de perda ao fogo da regeneração termo-mecânica indica que com o tempo de 60 minutos, o resultado se aproxima muito e ainda é inferior ao valor de perda ao fogo da areia base, que mesmo sendo considerada pura, contém certa quantidade de material orgânico e impurezas.

Os resultados apresentados mostraram que, com a soma dos melhores valores encontrados em todas as análises, o tratamento de regeneração termo-mecânica obteve um melhor resultado que os demais tratamentos e a areia base pura, comprovando que as condições de regeneração mecânica e a temperatura utilizada na calcinação obtiveram boa eficácia, removendo a resina e impurezas orgânicas, com isso tornando os grãos de areia regenerados possivelmente mais limpos que a areia base.

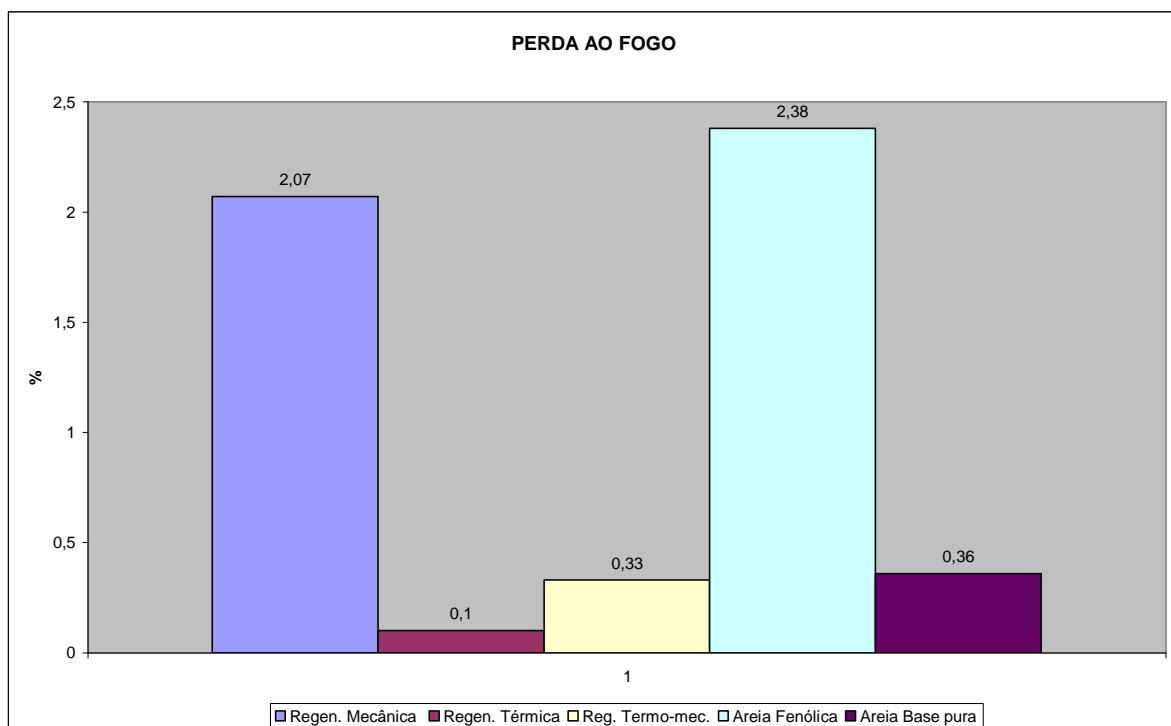


Figura 7 - Perda ao Fogo das areias analisadas.

### 3.3 Morfologia e Grau de Limpeza Via MEV

O aspecto visual foi analisado via microscopia eletrônica de varredura. As amostras foram analisadas sob baixo vácuo e não foram metalizadas, ajudando numa melhor visualização.

Pode-se verificar que após o destorroamento (Figura 8) as capas de resina ainda permanecem de grande tamanho (a) e com alguns grãos ainda ligados pela mesma (b).

Após a regeneração mecânica (Figura 9) os grãos já apresentaram um certo grau de limpeza, com uma capa de resina mais fina (a) do que aquela existente após o destorroamento.

Após regeneração térmica, constata-se uma eficiência maior nesse processo de regeneração do que na mecânica, pode-se verificar esse resultado observando a Figura 10 onde os grãos analisados aparentam visualmente estar totalmente livres de capas de resinas, mostrando apenas a existência de pequenas impurezas, provavelmente óxidos ou finos de areia.

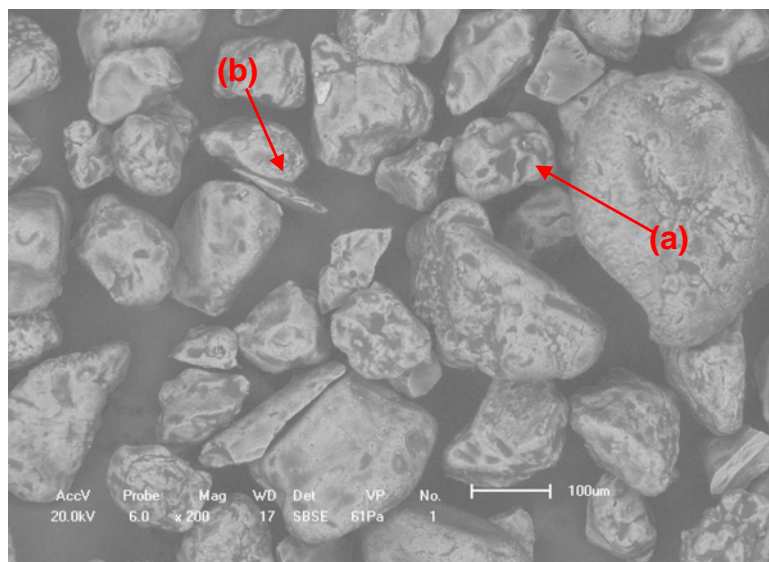


Figura 8 - Após destorroamento (200x).

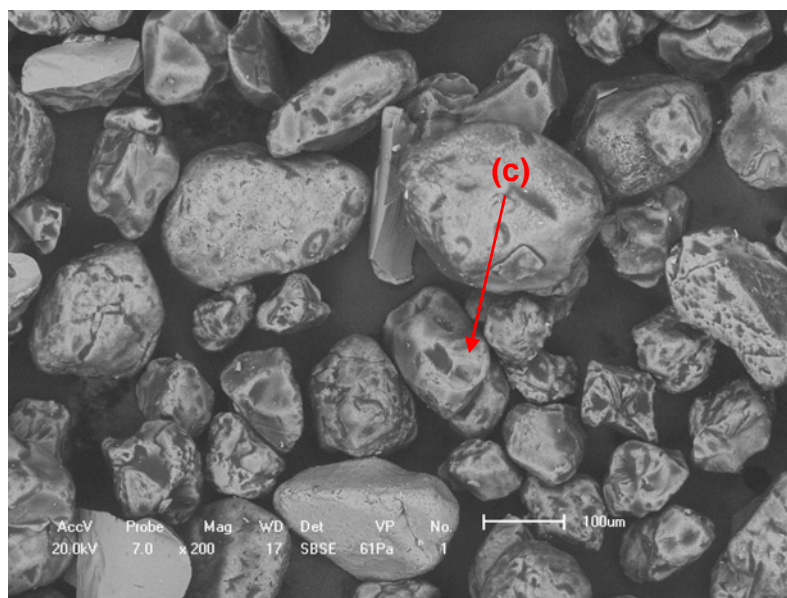


Figura 9 – Após regeneração mecânica (200x).

Já o tratamento de regeneração termo-mecânico (Figura 11) apresentou um grau de limpeza dos grãos ainda maior em relação aos demais processos de regeneração. Pode-se verificar esse resultado observando que os grãos estão com sua superfície livre da presença de resina ou algum possível resíduo de outro material orgânico. Existem apenas alguns finos de areia contidos nesses grãos, a maioria de tamanho muito pequeno, quase imperceptível. Com exceção das fissuras dos grãos



irregulares (a), onde é difícil avaliar se houve a total remoção, percebe-se, comparando com a areia base (Figura 12) que não há sobras de resina fenólica após esse tratamento, onde os grãos analisados aparentam visualmente estar com sua superfície totalmente livres de capas de resinas.

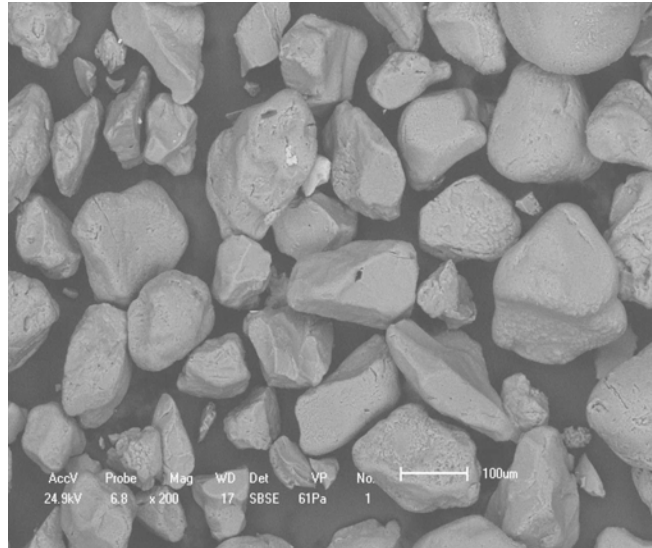


Figura 10 – Após regeneração térmica (200x).

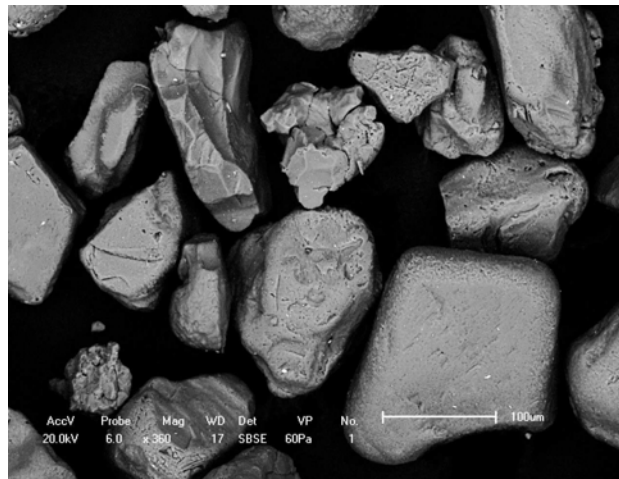


Figura 11 – Após regeneração termo-mecânica (360x).

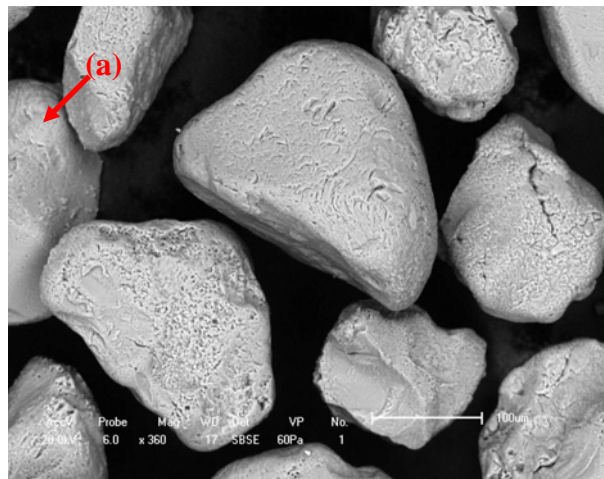
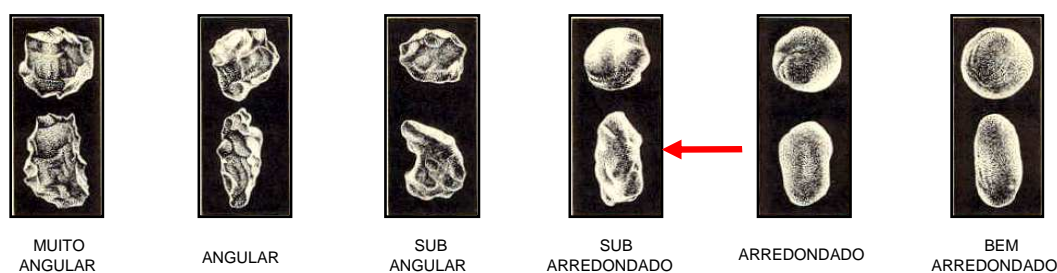


Figura 12 – Areia Base Pura (360x).

A qualidade superficial do grão de areia base nova deve ser levada em consideração, pois, as fissuras e as cavidades presentes nos grãos irregulares tornam-se pontos de ancoragem para a resina, dificultando a sua limpeza na regeneração mecânica, e como consequência, necessitando de um tempo maior na regeneração térmica, podendo acarretar um custo de regeneração mais elevado. Já os grãos regulares, com ausências de fissuras e cavidades, contribuem para uma remoção mais rápida da resina durante todos os processos de regeneração.

A morfologia de partículas sedimentares vai de grãos muito angulares a grãos bem arredondados, de acordo com M.C. Powers<sup>(9)</sup> A areia base nova utilizada nesse processo foi caracterizada, de acordo com a análise visual via microscópio eletrônico, de arredondado a sub arredondado, conforme Figura 13, sendo que esse é o tipo ideal de formato dos grãos para areia Shell Molding.<sup>(1)</sup> Mesmo com o processo de adição de resina fenólica para se tornar areia Shell Molding, os grãos mantiveram esta classificação.

Já após passar pelo processo termo-mecânico, a areia fenólica foi classificada de sub arredondado, com alguns grãos com características de sub angular. Isso se deve ao fato da areia fenólica passar muito tempo no regenerador mecânico e os grãos quebraram devido ao constante atrito com as hélices e contra as paredes do regenerador.



**Figura 13** - Morfologia de partículas sedimentares.<sup>(9)</sup>

Conforme observado nas análises via MEV, apenas o processo de regeneração mecânica não traz bons resultados, pois tem pouca eficiência na eliminação da cobertura de resina dos grãos de areia fenólica Shell Molding oriunda de macharia (Figura 9).

Já a regeneração térmica se mostrou bastante eficaz na eliminação da resina limpando praticamente toda a superfície dos grãos (Figura 10). O processo termo-mecânico obteve os melhores resultados, conforme constatou-se através da Figura 11.

#### 4 CONCLUSÕES

A sequência de regeneração mecânica mais térmica mostrou ser a mais eficiente entre os processos apresentados, mesmo que não muito superior ao tratamento somente térmico. Pela imagem via MEV da Figura 11, pode-se notar visualmente que não há resina fenólica sobre a superfície dos grãos, o que era a intenção deste trabalho, e os mesmos grãos não se encontram grudados entre si, comprovando a ausência de resina superficial e que há apenas a presença mínima de algum material que pode ser óxido resistente à temperatura de calcinação utilizada no tratamento termo-mecânico ou apenas finos de areia.

Com base nesses dados, percebe-se que para obter uma areia fenólica Shell Molding regenerada com características mais próximas da areia base pura, torna-se indispensável realizar um tratamento de regeneração termo-mecânico, sendo utilizado 828 RPM por 30 minutos no tratamento mecânico e em seguida 600°C por uma hora no tratamento térmico.

Outros fatores devem ser levados em consideração, recomenda-se a realização de um estudo mais aprofundado sobre se a morfologia dos grãos após os tratamentos mecânico mais térmico e como pode influenciar na reutilização dessa areia, por ter se tornado aparentemente mais angular. Também é possível analisar se somente o tratamento térmico não compensa, devido ao resultado apresentado ser muito próximo do termo-mecânico e este desprender mais tempo e certamente maior custo, a partir de ensaios de fabricação de novos machos.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem aos laboratoristas da Unisinos pela colaboração ao longo desse trabalho e ao Núcleo Tecnológico Senai Cetemp, pelo apoio nas análises via MEV.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 MORAES, C.A.M. Reciclagem de resíduos sólidos de fundição: uma análise crítica.. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 57., 2002, São Paulo. Resumos. São Paulo, 2002.
- 2 DIEHL, Marlos Dias; Regeneração de Areias de Fundição. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 51, 1996, Porto Alegre. Resumos. Porto Alegre, 1996.
- 3 GASPAR, Rodrigo Crippa et al. Caracterização de areia de fundição via tratamento de regeneração termo-mecânico. Artigo apresentado no 62º Congresso Anual da ABM realizado em Vitória, ES, de 24 a 28 de julho de 2007.
- 4 MARIOTTO, Cláudio L.; Regeneração de Areias: Uma Tentativa de Discussão Sistemática; Fundição e Matérias Primas. Caderno Técnico, São Paulo, p. A-T, jan./fev. 2000
- 5 BERNDT, H. Processo Shell: materiais e tecnologia. São Paulo: ABIFA, 1989. 240 p. (Série ABIFA).
- 6 MURRAY, G. S. Ester. Cured Phenolic Resins With Improved Reclaimability. AFS Transactions, [S.l.], v. 102, 1994. p. 497-501.
- 7 OLIVEIRA, Greice E. P.; CARNEIRO, Jozi da S. Caracterização de areias de fundição a base de resinas fenólicas regeneradas. 2007. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Química) – Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Viera da Cunha, Novo Hamburgo, 2007.
- 8 REIER, G. J.; ANDREWS, R. S. L. Planning for Thermal Sand Reclamation. AFS Transactions, [S.l.], v. 92, p 347-354. 1984.
- 9 POWERS, M. C. A new roundness scale for sedimentary particles. Journal of Sedimentary Research, [S.l.], n. 23, p. 117-119, 1953.