

# RESULTADOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS DA APLICAÇÃO DE MODIFICADORES DE FLUXO NO DISTRIBUIDOR DA AÇOS VILLARES – USINA MOGI DAS CRUZES

Marcelo Carboneri Carboni<sup>1</sup>

Wender Andrade Alves<sup>2</sup>

Marcos Antônio de Miranda<sup>3</sup>

Wilson Francisco da Silva Barbosa<sup>4</sup>

Alexandre Silveira de Azevedo<sup>5</sup>

Carlos Roberto dos Santos<sup>6</sup>

José Roberto Bolota<sup>7</sup>

## Resumo

Este trabalho tem por objetivo a avaliação da influência e os benefícios obtidos com a utilização de mobiliário de distribuidor na Aços Villares – Usina de Mogi das Cruzes. Os benefícios esperados são: remoção de inclusões e aumento do rendimento da máquina de lingotamento contínuo. A metodologia empregada neste trabalho consistiu no modelamento matemático preliminar para projeto do mobiliário, utilização sistemática do conjunto *Ripple Pad* e Diques e finalmente análise dos resultados em remoção de inclusões e em ganhos de rendimento. Considerando-se o nível de inclusões obtido com a utilização sistemática do sistema *Ripple Pad* com diques, obteve-se uma redução de cerca de 30% na rejeição de peças finais em casos de aplicações críticas. Obteve-se, também, uma redução consistente de descartes da ordem de 10% em relação ao material descartado em seqüências mistos, proporcionando ganhos de rendimento com a implementação do sistema.

**Palavras-chave:** Modificador de fluxo; Distribuidor; Inibidor de turbulência; Inclusões.

## QUALITATIVE AND QUANTITATIVE RESULTS OF THE APPLICATION OF FLUX MODIFIERS IN THE TUNDISH OF AÇOS VILLARES - MOGI DAS CRUZES PLANT

### Abstract

This work aims to evaluate the influence and benefits obtained with the utilization of tundish furniture at Aços Villares – Mogi das Cruzes Plant. The expected benefits are inclusion removal and yield improvement in the continuous casting machine. The methodology employed in this work consisted in preliminary mathematical modeling of the system for the furniture project, the systematic *Ripple Pad* and dams utilization and finally the analysis of results in terms of inclusion removal and yield improvements. Considering the level of inclusions obtained with the systematic utilization of the system *Ripple Pad* and dams, a reduction around 30% in rejection of final products was obtained for critical applications. Consistent reduction around 10% in the discharge for sequential casting of different steel grades was also obtained, providing yield improvement.

**Key words:** Flux modifier; Tundish; Impact pad; Inclusion.

### 1 INTRODUÇÃO

O distribuidor pode ser entendido como um reator desenvolvido para conectar as painelas com aço líquido aos moldes da máquina de lingotamento contínuo, cuja função primordial é atuar como um reservatório que garanta o fornecimento de aço líquido, ininterruptamente, à máquina de lingotamento contínuo, mesmo durante a troca de painelas em um seqüenciamento de corridas.<sup>(1)</sup> Ele é o último vaso antes do aço líquido atingir o molde, no qual a

quantidade de componentes não-metálicos (inclusões) presentes no aço pode ser substancialmente alterada de forma positiva ou negativa.

Todavia, como conseqüência direta da necessidade de aumento da qualidade e redução de custos na produção de aços, o escopo de atuação dos distribuidores vem adquirindo uma nova dimensão:<sup>(2,3)</sup> o aumento do tempo mínimo

<sup>1</sup> Engenheiro Metalurgista – Supervisor Técnico de Processos de Aciaria – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes. Av. Engenheiro Miguel Gemma, 1871 – Bairro Rio Acima – 08780-680 – Mogi das Cruzes, SP

<sup>2</sup> Engenheiro de Materiais – Especialista de Produto – Vesuvius Brasil

<sup>3</sup> Técnico em Refratários - Supervisor Operacional de Refratários – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes

<sup>4</sup> Técnico em Metalurgia – Gerente de Contas - Vesuvius Brasil

<sup>5</sup> Técnico em Metalurgia – Supervisor Operacional de Lingotamento Contínuo – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes

<sup>6</sup> Tecnólogo em Garantia da Qualidade – Técnico em Controle de Qualidade – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes

<sup>7</sup> Engenheiro Metalurgista – Gerente de Aciaria – Aços Villares S/A – Usina Mogi das Cruzes

de residência do aço (MRT) e conseqüente eliminação de linhas de curto circuito no distribuidor, com objetivo de maximizar a flotação de inclusões no banho metálico; a redução da turbulência gerada pelo fluido entrante e a conseqüente redução da emulsificação de escória no banho metálico; a alteração do padrão de fluxo, para que a obtenção de uma maior homogeneidade termoquímica entre os veios seja alcançada; e o desenvolvimento de uma maior parcela de fluxo pistonado para uma transição mais eficiente de diferentes graus de aço seja obtido e a redução de regiões de baixa velocidade de troca de massa (zonas mortas).

Vários pesquisadores<sup>(4)</sup> têm estudado o comportamento fluido-dinâmico do aço no distribuidor de forma a minimizar o potencial de contaminação do aço por não-metálicos e aumentar a probabilidade de separação de impurezas. Uma gama considerável de aparatos refratários foi desenvolvida e testada com este propósito. Dentre estes, surgiram os genericamente denominados *Impact Pads* ou inibidores de turbulência.

Um *Impact Pad*, desde sua concepção, deve considerar a captura, desaceleração e reorganização do jato de aço proveniente do tubo longo como premissa básica a um funcionamento adequado. Dada a extrema energia deste jato de aço, um material refratário desenvolvido para tais condições de exigência é requerido para a garantia de uma performance adequada.<sup>(5)</sup> Além disso, a aplicação de tais inibidores de turbulência não pode ser considerada isoladamente ou com o fim em si mesma. Cada aplicação ou cada novo projeto deve ser encarado como um novo ambiente, influenciado por novos fatores e tipicamente com objetivos de aplicação distintos.

Através da utilização de ferramentas de modelamento computacional (*Fluent*) e modelamento físico (Modelo de Água), a *Advent Process Engineering* desenvolveu ao longo dos últimos anos algumas famílias básicas de *Impact Pads*, que possuem algumas características comuns:

- paredes laterais especialmente desenhadas para capturar o jato entrante e reduzir a turbulência;
- controle da difusão e das linhas de fluxo do fluido de saída; e
- promoção de um modelo de fluxo mais laminar e pistonado ao longo do distribuidor.

Dessa forma, o distribuidor da Aços Villares – Usina Mogi das Cruzes foi modelado com técnicas de CFD onde se buscou a compreensão do comportamento do fluxo e principalmente o desenvolvimento de uma solução de fluxo que aumentasse a homogeneidade termoquímica dos veios, e reduzisse, consideravelmente, o nível geral de inclusões no aço lingotado.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um projeto de mobiliário de *tundish* para o *tundish* da máquina de lingotamento contínuo da Aços Villares – Usina Mogi das Cruzes e a avaliação dos resultados benéficos de sua utilização na operação e produção de aços especiais para construção mecânica.

Avaliou-se os resultados sob dois aspectos:

- limpeza inclusionária interna; utilizando-se métodos de medição de micro inclusões; e

- ganho de rendimento em sequenciamento de aços de qualidade distinta em um mesmo distribuidor; medido pelo descarte realizado no lingotamento contínuo.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para a implantação do projeto de modificadores de fluxo na máquina de lingotamento contínuo teve duas etapas principais:

- projeto do mobiliário do distribuidor; e
- implantação do mobiliário e validação dos resultados experimentais.

### 3.1 Projeto dos Modificadores de Fluxo

A máquina de lingotamento contínuo da Aços Villares – Usina Mogi das Cruzes é um *tundish* tipo “T” de quatro veios com capacidade de 12 t sem nenhum tipo de mobiliário. Esta máquina produz tarugos quadrados em bitolas de 155 mm e 185 mm, em um *throughput* de aproximadamente 1,10 t/min, que resulta em tempo de residência teórico médio de quase 11 minutos.

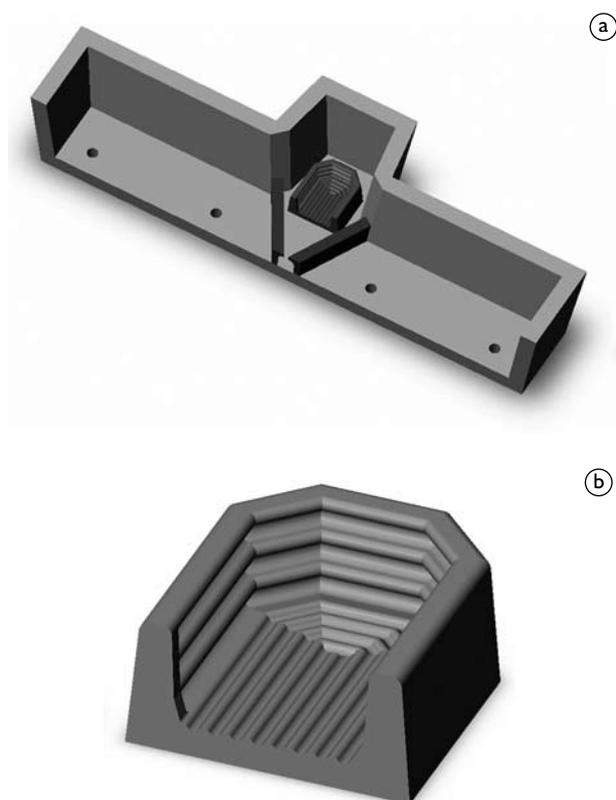
O projeto do mobiliário desenvolvido para este *tundish*, compreendeu o desenvolvimento de um conjunto composto por *Impact Pad* e diques para homogeneização do fluxo de aço e redução de turbulência dentro do distribuidor.

O conceito do projeto foi desenvolvido pela *Advent Process Engineering* através de modelamento matemático com técnicas de CFD, utilizando o *software Fluent*. Este projeto tinha como objetivos fundamentais a eliminação de curto circuitos, direcionamento do fluxo de aço para a região de escória sintética de cobertura do distribuidor, melhoria na homogeneidade termoquímica entre os veios, aumento do MRT (minumum residence time) e aumento na porcentagem de fluxo pistonado dentro do distribuidor. A Figura 1 apresenta o projeto final contemplando a montagem do *Ripple Pad* com dois diques e o detalhamento do *Ripple Pad*.

A implantação deste sistema, bem como o projeto e fabricação dos refratários foi feito pela Vesuvius Brasil. A Figura 2 mostra uma foto da montagem refratária real em um *tundish*.

### 3.2 Testes e Validações Industriais

Visando analisar o desempenho do projeto do *Impact Pad* para o distribuidor da Aços Villares – Usina Mogi das Cruzes sob dois aspectos, foi



**Figura 1.** Projeto final do mobiliário de *tundish*, incluindo a) *Ripple Pad* e diques; e b) detalhe do projeto do *Ripple Pad*.



**Figura 2.** Montagem refratária do conjunto *Ripple Pad* e diques no *tundish*.

necessário realizar dois procedimentos experimentais distintos, sendo o primeiro focado em resultados de limpeza inclusionária e o restante em ganhos de rendimento em seqüenciamento de aços de qualidades distintas.

### 3.2.1 Análise de inclusões

Para a análise da influência dos modificadores de fluxo na limpeza inclusionária do aço, foram comparadas corridas produzidas com e sem o mobiliário de *tundish* para a modificação de fluxo. Optou-se por realizar estes testes em uma liga específica de alta solubilidade, que apresentava rejeições em produto acabado pela presença de inclusões de 30  $\mu\text{m}$  a 150  $\mu\text{m}$ .

O nível de microinclusões do material foi medido de acordo com a norma DIN 50602, método K de somatória de inclusões,<sup>(6)</sup> onde o parâmetro utilizado foi KI para óxidos.

Desprezou-se K0, pois esta faixa de tamanho médio de inclusões não seria a faixa de tamanhos de inclusão removíveis por esta montagem refratária de modificadores de fluxo, pelo próprio modelo em CFD. De acordo com o modelo, a grande influência seria detectada a partir de tamanhos correspondentes a KI.

Também não foi avaliado K para sulfetos, uma vez que o aço em análise tinha faixa controlada de enxofre, e assim, a presença de quantidades controladas de sulfeto era desejada.

De acordo com a norma DIN 50602 foram retiradas amostras do início, meio e final de lingotamento.

### 3.2.2 Análise de seqüenciais de aços de qualidades distintas

Seqüenciamento de aços de qualidades distintas em um mesmo distribuidor é uma prática amplamente adotada na siderurgia, principalmente em siderúrgicas que produzem aços especiais. Para o aproveitamento do mesmo distribuidor, faz-se uma transição de tipo de aço, descartando-se a região de mistura, que apresenta heterogeneidade química. Este descarte é feito através de cálculo e confirmado por análise química das extremidades dos tarugos descartados.

A sistemática implantada para cálculo e descarte destes materiais de transição está descrita detalhadamente em outro trabalho.<sup>(7)</sup> A prática operacional é chamada de *Método da Dupla Diluição* e as principais variáveis que influem no tamanho do descarte são:<sup>(7)</sup>

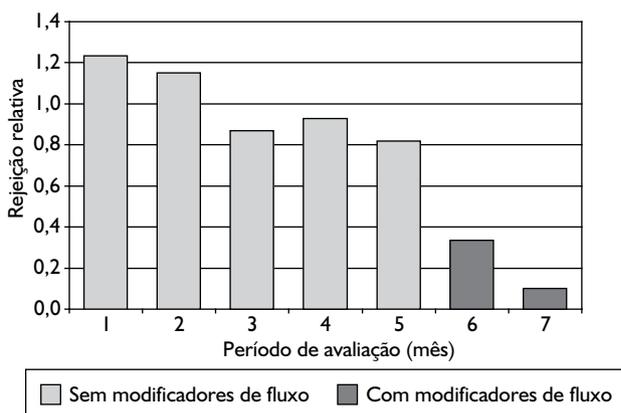
- diferença de composição química entre os aços envolvidos;
- volume de aço residual no momento da transição;
- velocidade e temperatura de lingotamento;
- volume morto no *tundish*; e
- volume de fluxo pistonado.

Os modificadores de fluxo atuam, fundamentalmente, diminuindo o volume morto e aumentando a porcentagem de fluxo pistonado dentro do *tundish*. Desta forma, pode-se diminuir o descarte por heterogeneidade química em seqüenciais de aços de qualidades distintas, sem alterar-se as práticas operacionais, mas sim por alteração do modelo de fluxo de aço do *tundish*.

## 4 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

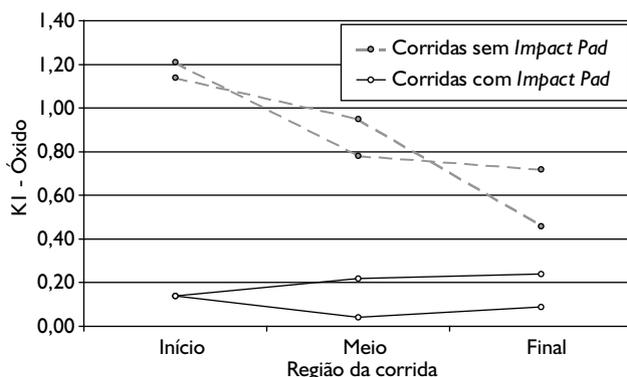
### 4.1 Análise de Inclusões

A primeira análise realizada para a avaliação do efeito dos modificadores de fluxo na remoção de inclusões durante o lingotamento contínuo foi feita por método comparativo do desempenho de corridas de um tipo de aço de alta solicitação. Considerou-se o histórico de rejeição por micro-inclusões, em corridas produzidas sem modificadores de fluxos, durante alguns meses, e comparou-se com o resultado de dois meses de produção deste aço com o conjunto *Ripple Pad* e diques. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3, onde o índice de *rejeição relativa* é dado em função da quantidade de peças rejeitadas na inspeção final do cliente por motivo de inclusões.



**Figura 3.** Rejeições em produto final (peças produzidas pelo cliente) por micro-inclusões para os casos sem modificadores de fluxo e com modificadores de fluxo.

Observando-se os bons resultados, procedeu-se a análise sistemática de inclusões de acordo com o método K da norma DIN 50602 em amostras de início, meio e fim de lingotamento. Desta forma, pode-se obter resultados mais significativos dos efeitos da utilização dos modificadores de fluxo em termos de remoção de inclusões. Os resultados são apresentados na Figura 4.

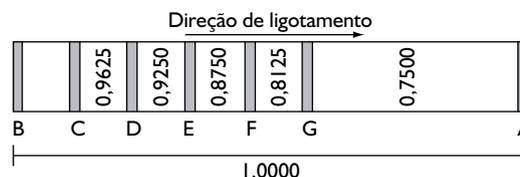


**Figura 4.** Resultados de medição de KI para óxidos para corridas sem e com modificadores de fluxo.

Pode-se observar que não apenas o nível médio de KI foi reduzido, como também a diferença entre o início e o regime estável foi praticamente eliminada.

### 4.2 Descartes em Seqüenciais de Aços de Qualidades Distintas

Para avaliar possíveis reduções do descarte em seqüenciais de aços de qualidades distintas em um mesmo distribuidor, manteve-se o mesmo algoritmo de cálculo de descarte já padronizado para as condições de fluxo do distribuidor sem modificadores. Após a realização dos descartes, foram avaliadas diferentes metragens de corte no material já sucitado de acordo com a Figura 5. Desta maneira pode-se padronizar a nova metragem de descarte, já com o fluxo modificado.



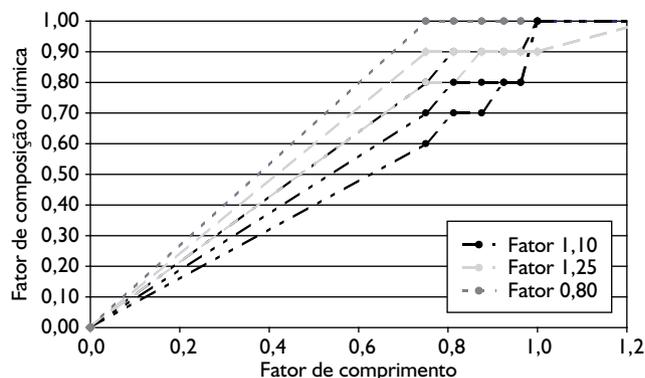
**Figura 5.** Esquema de amostragem para análise química do material de transição.

Dentro do algoritmo de cálculo, dois fatores são fundamentais para análise: a diferença de composição química em um dado elemento entre a primeira e a segunda corrida; e o comprimento de tarugo descartado na transição. Com o objetivo de se avaliar o conjunto de resultados como um todo, foi feita uma padronização nestes valores da seguinte maneira:

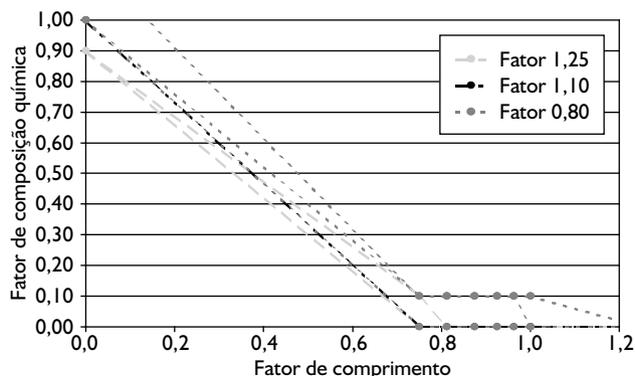
- valores de comprimento de tarugo de descarte foram padronizados de 0 a 1,0, sendo o comprimento 1,0 igual a 100% do descarte indicado pelo algoritmo de cálculo em utilização atualmente; e
- os valores de composição química foram normalizados de 0 a 1,0, sendo 0 o valor de um determinado elemento para a primeira corrida e 1,0 o valor do mesmo elemento na segunda corrida para casos de concentração, e o inverso para casos de diluição.

Desta maneira, optou-se por representar os resultados de concentração em uma curva e os de diluição em outra, para facilitar a visualização dos dados. Além disso, utilizou-se um fator de severidade de mistura dependendo da amplitude de faixa de composição química. Este fator é utilizado no algoritmo, aumentando proporcionalmente o comprimento do descarte. Nas curvas cada fator está representado em um padrão. As Figuras 6 e 7 apresentam os resultados obtidos.

Valores correspondentes a 0,8 (concentração) ou 0,2 (diluição) da faixa de composição química já são aceitáveis, pois correspondem a variações da ordem de grandeza do erro da análise química em laboratório.



**Figura 6.** Resultados de análise química em função do descarte para casos de concentração.



**Figura 7.** Resultados de análise química em função do descarte para casos de diluição.

## 5 CONCLUSÕES

Avaliando-se os resultados obtidos a partir da validação industrial feita na usina, foi possível atingir os resultados esperados.

## REFERÊNCIAS

- 1 McPHERSON, N.A.; McLEAN, A. (eds.) **Non-metallic inclusions in continuously cast steel**. Leeds: The Iron and Steel Society; 1995 (Continuous casting, 7).
- 2 HEASLIP, L.J.; DORRICOT, J.D.; RICHAUD, J.; ROGLER, J.P. Minimization of hybrid steel production during grade inter-mixing by improved tundish design and on-line optimization, prediction & tracking. In: 2005 McMASTER IRON & STEELMAKING SYMPOSIUM: THINNER SLAB CASTING, 2005, Ontario. Ontario: McMaster University, 2005.
- 3 CRAMB, A.W. Directions in the production of clean steels. In: METALCASTING CONGRESS, 2004, Rosemont, Illinois. **AFS Transactions**, v.102, 1994. 1 Cd-Rom, p. 3-9.
- 4 ODENTHAL, H.-J.; PFEIFER, H.; KLAAS, M. Physical and mathematical modeling of tundish flows using Digital Particle Image Velocimetry (DPIV) and CFD-methods. **Steel Research**, v. 71, n. 6-7, p. 210-9, 2000.
- 5 SARPOOLAKY, H.; ZHANG, S.; ARGENT, B.B.; LEE, W.E. Influence of grain phase on slag corrosion of low-cement castable refractories. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 84, n. 2, p. 426-34, Feb. 2001.
- 6 DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 50602: 1985 - Microscopic examination of special steels using standard diagrams to assess the content of non-metallic inclusions. [S.l.]; 1985.
- 7 CARBONI, M.C.; LIMA, A.S.; AZEVEDO, A.S.; BOLOTA, J.R. Sequenciamento de aços de qualidades distintas em um mesmo distribuidor no lingotamento contínuo. In: SEMINÁRIO DE FUSÃO, REFINO E SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS, 36., 2005, Vitória. **Anais...** São Paulo: ABM; 2005.

Recebido em: 15/01/07

Aceito em: 17/07/07

Proveniente de: SEMINÁRIO DE ACIARIA - INTERNACIONAL, 37., 2006, Porto Alegre, RS. São Paulo: ABM, 2006.

Como benefícios da utilização dos modificadores de fluxo é possível destacar:

- o nível de rejeição em produto final por motivo de micro-inclusão para aço de elevada severidade de aplicação foi reduzido de maneira consistente em cerca de 75%;
- obteve-se uma redução da ordem de 40% no valor médio de KI para óxidos com a utilização de modificadores de fluxo;
- a homogeneidade de limpeza ao longo do lingotamento foi maior com a utilização dos modificadores de fluxos, por reduzir a turbulência dentro do *tundish* na abertura de panela e início de lingotamento. Desta maneira o impacto negativo de uma troca de panela para a limpeza do aço é minimizado; e
- demonstrou-se possível uma redução de cerca de 15% em casos de concentração e 20% em casos de diluição para o peso descartado em uma troca de qualidade de aço sem troca de distribuidor (é necessário considerar que o algoritmo original de cálculo já considerava um descarte maior em casos de diluição).

Desta maneira pode-se concluir que o projeto de implantação de modificadores de fluxo no *tundish* da máquina de lingotamento contínuo de Aços Villares – Usina Mogi das Cruzes atingiu seus objetivos iniciais.