

# DESENVOLVIMENTO DO VAMFLUX BP PARA REFINO DE AÇO NA ACIARIA DA BELGO – ARCELOR BRASIL, USINA DE PIRACICABA<sup>1</sup>

*Pedro José Nolasco Sobrinho<sup>2</sup>*

*Gérson Ceslau Rusky<sup>3</sup>*

*Marcos Vinícius Rocco<sup>4</sup>*

*Osmar Coura de Oliveira<sup>5</sup>*

*Humberto Henrique Ferreira de Assis Procópio<sup>6</sup>*

*José Marcio Garcia de Campos<sup>7</sup>*

*Carlos Eduardo D'Elboux Rochelle<sup>8</sup>*

*Delmar Barros Ribeiro<sup>9</sup>*

## Resumo

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de uma escória sintética para o refino secundário do aço CA50R no forno panela da Belgo - Arcelor Brasil, Usina de Piracicaba. A escória sintética Vamflux BP, fabricada pela Vamtec, foi formulada para desoxidar a escória passante no vazamento, dessulfurar o aço, minimizar o desgaste do refratário da panela, diminuir o número de adições de materiais no forno panela, durante o tratamento do aço e minimizar o tempo de tratamento de refino do aço na aciaria. A escória sintética desenvolvida atingiu os objetivos para os quais foi projetada. Os resultados mostraram que com o uso do Vamflux houve maior redução do teor de enxofre do aço, melhor rendimento das ligas adicionadas e redução na quantidade de materiais adicionados no refino do aço, dentre outras vantagens. Verificou-se que a utilização de uma escória sintética bem projetada possibilita atingir ótimos resultados, facilitando o trabalho dos aciaristas e oferecendo condições para o aumento na produtividade, devido a um menor tempo de tratamento de refino do aço e menor quantidade de intervenções no processo, sendo uma prática simples e econômica para as siderúrgicas. A Vamtec possui experiência na fabricação de escórias sintéticas.

**Palavras-chave:** Escória sintética; Refino; Forno panela; Aciaria.

## DEVELOPMENT OF THE SYNTHETIC SLAG VAMFLUX BP TO REFINING OF STEEL INTO LADLE FURNACE AT BELGO – ARCELOR BRASIL, PIRACICABA STEEL PLANT

### Abstract

This paper shows the development of synthetic slag Vamflux BP to refining CA50R steel into ladle furnace at Belgo – Arcelor Brasil, Piracicaba steel plant. The synthetic slag was made to desulfurize the steel, decrease the additions of materials during refining, to protect the refractories of the ladle furnace and decrease the refining time of the steel. The rate of desulphurization had increased about 50% with the use of Vamflux. The process control had become more simple and stable with Vamflux. The Mn and Si alloys were recovered more successfully. The practice of synthetic slag is very simple and cheap to steel plants and it can increase the productivity due to best control of the process and the decrease of the time to refining steel in ladle furnace. Vamtec has a good experience in the production of synthetic slag.

**Key words:** Synthetic slag; Refining; Ladle furnace; Steel plant.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Sócio titular da ABM. Pós-Doutor(PMT-Poli USP). Gerente de P&D da VAMTEC S.A. Centro de Pesquisa da VAMTEC.*

<sup>3</sup> *Sócio titular da ABM. Eng<sup>o</sup>. Metalurgista. Gerente de Vendas e Assistência técnica da VAMTEC.*

<sup>4</sup> *Sócio titular da ABM. Eng<sup>o</sup>. Metalurgista. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da VAMTEC.*

<sup>5</sup> *Gerente de Produção da VAMTEC.*

<sup>6</sup> *Coordenador do Sistema de Gestão da Qualidade da VAMTEC.*

<sup>7</sup> *Sócio Titular da ABM. Téc. Metalurgista. Analista do DTPA – Belgo - Arcelor Brasil, Usina de Piracicaba*

<sup>8</sup> *Sócio Titular da ABM. Eng<sup>o</sup>. Metalurgista. Chefe do DTPA – Belgo - Arcelor Brasil, Usina de Piracicaba*

<sup>9</sup> *Sócio Titular da ABM. Eng<sup>o</sup>. Metalurgista. Gerente da GPAC– Belgo - Arcelor Brasil, Usina de Piracicaba.*

# 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de aumentar a produtividade, reduzir os custos e fabricar aços com exigências de qualidade cada vez mais rígidas, conduz as siderúrgicas ao desenvolvimento de novas técnicas e processos de refino. Uma técnica de refino de aço muito comum é a utilização de escórias sintéticas, que deve ser considerada como ponto de partida no processo de refino secundário dos aços. A escória sintética deve ser elaborada de maneira que permita ao aciarista prever sua evolução durante o tratamento, para que a mesma possa ter um ótimo desempenho.

Se elaborada corretamente, a escória sintética permite alcançar vários benefícios no processo, desde a proteção dos refratários da panela e da reoxidação do aço, evitando a exposição do arco elétrico e, com isso, proporcionando redução do consumo de energia, até a remoção do enxofre do aço líquido, possibilitando um melhor controle da composição química do aço.

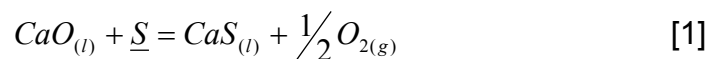
A Vamtec, empresa fornecedora de insumos para indústrias metalúrgicas e siderúrgicas, experiente na fabricação de escórias sintéticas<sup>(1)</sup> nas suas diversas formas (briquetadas, pelotizadas ou sinterizadas), conta com equipe técnica capacitada para desenvolver escórias sintéticas para as diversas aplicações na metalurgia e na siderurgia como dessulfuração, desfosforação, captação de inclusões, proteção do arco elétrico, isolamento térmico do aço, proteção refratária, dentre outros. A Vamtec desenvolveu para a empresa Belgo – Arcelor Brasil, Usina de Piracicaba, uma escória sintética para o refino do aço CA50R no forno panela, visando à diminuição do teor de enxofre do aço e este trabalho descreve as principais etapas deste desenvolvimento.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Termodinâmica da Dessulfuração do Aço

No desenvolvimento da escória sintética Vamflux todos os parâmetros do processo da Aciaria de Piracicaba foram levados em consideração. Reuniões foram realizadas envolvendo as equipes técnicas da Vamtec e da Aciaria de Piracicaba, para se chegar ao produto que cumprisse os objetivos pré-estabelecidos. Alterações da composição química da escória fizeram-se necessárias, com a evolução dos testes, para garantir os resultados esperados. Atenção especial foi dada ao fato do Vamflux usar o alumínio metálico como desoxidante, pois há um limite superior de alumina permitido na escória final do forno panela para evitar o *clogging*.

Com uma avaliação termodinâmica simples, podem-se verificar as condições mais favoráveis para a dessulfuração do aço.<sup>(2)</sup>



No equilíbrio, tem-se:

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln \frac{a_{CaS} \cdot p_{O_2}^{1/2}}{a_{CaO} \cdot h_S} \quad [2]$$

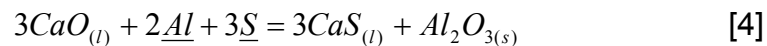
A equação [2], trabalhada, fornece:

$$\ln \%S = \frac{\Delta G^\circ}{RT} + \ln a_{CaS} - \ln a_{CaO} + \frac{\mu_{O_2}}{2RT} - \ln f_S \quad [3]$$

Pela equação 3, observa-se que para favorecimento da dessulfuração do aço, deve-se ter:

- menor potencial de oxigênio ( $\mu_{O_2}$ ), ambiente redutor;
- menor atividade do  $CaS$ ;
- maior atividade do  $CaO$ ;
- maior temperatura.

A adição de alumínio na escória proporciona a desoxidação do banho, favorecendo a dessulfuração do aço. Além disso, a alumina formada no processo fluidifica a escória e melhora suas propriedades. A dessulfuração na panela é um processo muito bem conhecido. A dessulfuração depende da capacidade de sulfeto da escória sintética, da atividade do oxigênio e da quantidade de escória sintética utilizada no tratamento. A reação básica é a seguinte, considerando a participação do alumínio:<sup>(3)</sup>



Como visto anteriormente, a dessulfuração é favorecida com o aumento da atividade do  $CaO$  e, neste caso, equação [4], pelo aumento da atividade do  $Al$  também.

Aços acalmados ao silício são difíceis para dessulfurar porque o potencial de oxigênio é relativamente maior em relação aos aços acalmados ao alumínio. A cinética do processo de dessulfuração é favorecida pela agitação do banho. A dessulfuração é controlada pela transferência de massa da fase líquida.<sup>(4)</sup>

## 2.2 Basicidade Óptica e Capacidade de Sulfeto

A capacidade de sulfeto ( $C_s$ ) que uma escória pode reter é baseada no equilíbrio gás-escória. O cálculo da capacidade de sulfeto da escória pode ser realizado através da expressão abaixo, utilizando o conceito de basicidade óptica e levando-se em consideração o efeito da temperatura. A equação que é válida entre 1673 K a 1973 K. A basicidade óptica elimina qualquer decisão arbitrária em relação à natureza ácida ou básica de um óxido.<sup>(5,6)</sup> Neste caso, a basicidade é enfocada em termos de capacidade de doação de elétrons. A basicidade óptica de um óxido ( $\Lambda$ ) pode ser calculada em função da eletronegatividade de Pauling (X) para um cátion, cujos valores são tabelados.

$$\log C_s = [(22690 - 54640\Lambda) / T] + 43,6\Lambda - 25,2 \quad [5]$$

Na equação [5]:

$\Lambda$  = basicidade ótica

$C_s$  = capacidade de sulfeto

T = temperatura (K)

### 2.3 Cálculo da Quantidade de Escória Sintética

Para o cálculo da quantidade de escória sintética a ser adicionada no processo ( $m_E$ ), deve-se realizar inicialmente o balanço de massas do processo e considerando também os dados do processo como dimensões e borda livre da panela, comprimento do arco elétrico do forno panela, quantidade e composição da escória passante.

Normalmente, adota-se como espessura mínima de escória (E) um valor 10% maior que o comprimento do arco elétrico ( $L_{Arco}$ ) para evitar a exposição do arco elétrico,<sup>(7)</sup> o que causaria instabilidade no processo, maior consumo de energia e desgaste refratário.

Assim, tem-se:

$$E = 1,1 L_{Arco} \quad [6]$$

Pode-se utilizar a expressão a seguir para o cálculo da quantidade de escória:

$$m_E = 7,9 \times 10^{-4} \times D_p^2 \times E \times \rho \quad [7]$$

onde:

$m_E$  é a massa de escória (kg).

$D_p$  é o diâmetro da panela (cm).

E é a espessura da escória (cm).

$\rho$  é a massa específica da escória (kg/dm<sup>3</sup>).

A viscosidade e a temperatura *liquidus* da escória podem ser levantadas, com certa aproximação, através de diagramas ternários.<sup>(8)</sup> A temperatura *liquidus* da escória deve ser ligeiramente inferior à temperatura de tratamento do aço líquido, para que as reações envolvendo escória-metal iniciem-se mais rapidamente.

### 2.4 Plano Operacional

Nesta etapa foram realizadas as seguintes atividades, dispostas cronologicamente:

- ▶ reuniões técnicas entre técnicos da Vamtec e Aciaria de Piracicaba;
- ▶ elaboração da formulação e composição química da escória, com base nos dados do processo da Aciaria de Piracicaba;
- ▶ seleção e beneficiamento das matérias-primas;
- ▶ preparação de amostras de Vamflux em escala laboratorial para confirmação da composição química;
- ▶ preparação e envio de amostras de Vamflux para testes preliminares na Aciaria de Piracicaba;
- ▶ análise dos resultados e ajuste da composição química do Vamflux;

- ▶ realização de testes sistemáticos com o Vamflux na Aciaria de Piracicaba;
- ▶ análise dos resultados e acerto da composição final, se necessário.

## 2.5 A Escória Sintética Vamflux BP

O Vamflux BP foi desenvolvido à base de fluorita e cal, contendo ainda na sua composição alumínio metálico. A Tabela 1 apresenta algumas características da escória sintética Vamflux.

**Tabela 1.** Características da escória sintética Vamflux.

$T_{\text{líquidus}}$ (°C) <sup>(8)</sup>	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> ) <sup>(8)</sup>	$\eta$ (poise) <sup>(8)</sup>	H <sub>2</sub> O (%)
1350-1400	2,2	13,0	0,5 máx.

Em todos os teste o Vamflux foi adicionado durante o vazamento do aço do forno elétrico para a panela. O forno elétrico da Aciaria de Piracicaba é o maior do Brasil, com capacidade nominal de 140 t/corrida.

## 2.6 Testes Preliminares(1º Etapa)

Nesta etapa foram realizados 10 testes com o Vamflux BP para: i) avaliar se a poluição gerada na aciaria durante a adição da escória sintética estava dentro dos padrões estabelecidos pela empresa; ii) avaliar a taxa de remoção de enxofre no aço; iii) avaliar o tempo de tratamento do aço com o Vamflux; iv) avaliar visualmente a escória na panela; v) avaliar a formação do *coating* no refratário da panela, objetivando reduzir o consumo específico; vi) avaliar a fluidez do aço no distribuidor do lingotamento contínuo.

## 2.7 Testes Sistemáticos (2º Etapa)

Nesta etapa do desenvolvimento foram acompanhadas 20 corridas com o uso de escória padrão e realizados 25 testes com o Vamflux BP. Foram avaliados os resultados relacionados à remoção de enxofre do aço, rendimento de liga, formação de escória e a geração de poluição no momento da adição da escória.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

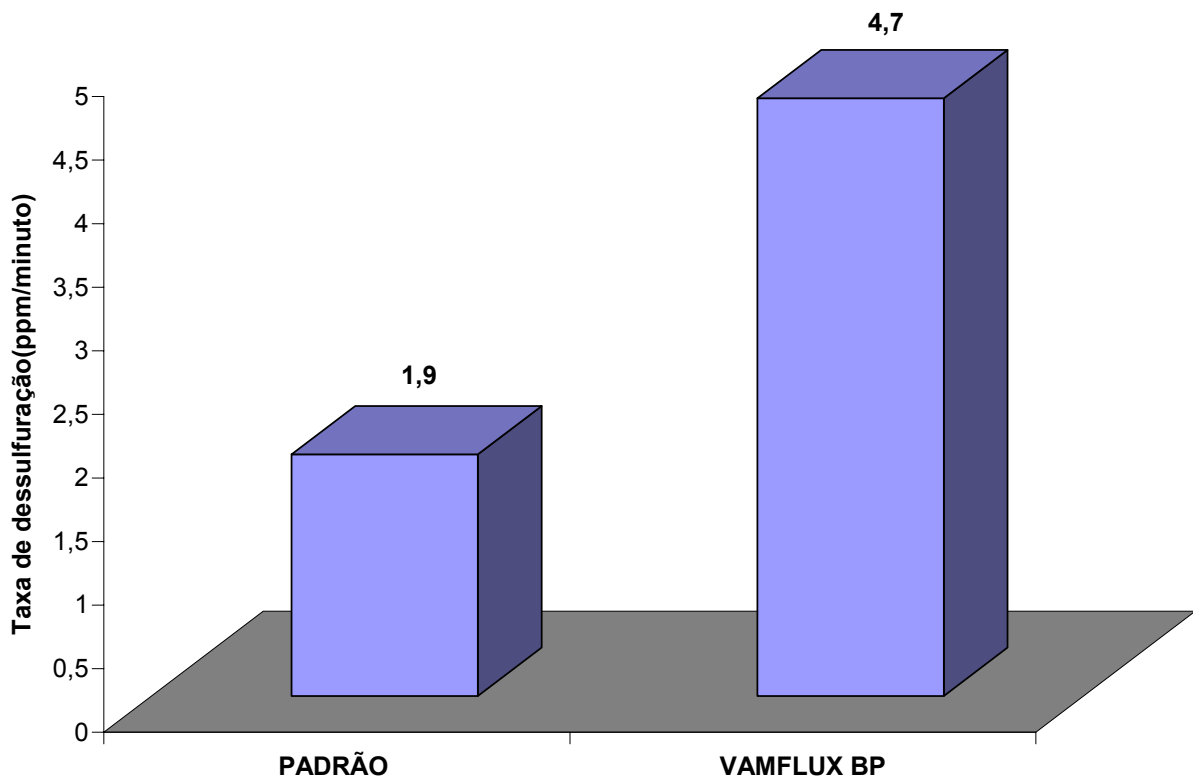
Os resultados mostraram que a poluição gerada na adição do Vamflux encontrava-se dentro dos limites estabelecidos pela Aciaria de Piracicaba. A formação da escória ocorreu rapidamente, sem “ilhas” e sem formação de “laje”. Com o uso do Vamflux, observou-se que a taxa de dessulfuração do aço foi maior que os valores obtidos pela Belgo utilizando a escória padrão. O Vamflux possibilitou um melhor controle do processo, devido, principalmente, à eliminação de algumas adições de materiais, que eram realizadas no forno panela e que deixaram de acontecer com o uso do Vamflux da Vamtec. Uma explicação para uma melhor taxa de dessulfuração no processo da Belgo com o uso do Vamflux pode ser devido a este possuir Al metálico na sua composição para desoxidar o banho. A alumina formada e a fluorita contida nele fluidizaram a escória e favoreceram a ocorrência mais rápida das reações de dessulfuração. Um outro fator importante foi a homogeneidade química e física do Vamflux. O comportamento do aço líquido no

lingotamento contínuo foi normal. Após análise dos resultados, realizou-se um pequeno ajuste na composição química da escória sintética para a seqüência do desenvolvimento.

De forma análoga aos testes preliminares, durante os testes sistemáticos e no momento da adição do Vamflux não se observou poluição considerável capaz de causar problemas no processo e/ou riscos para a segurança dos operários. Verificou-se que a escória sintética adicionada tornava-se líquida rapidamente e de forma uniforme.

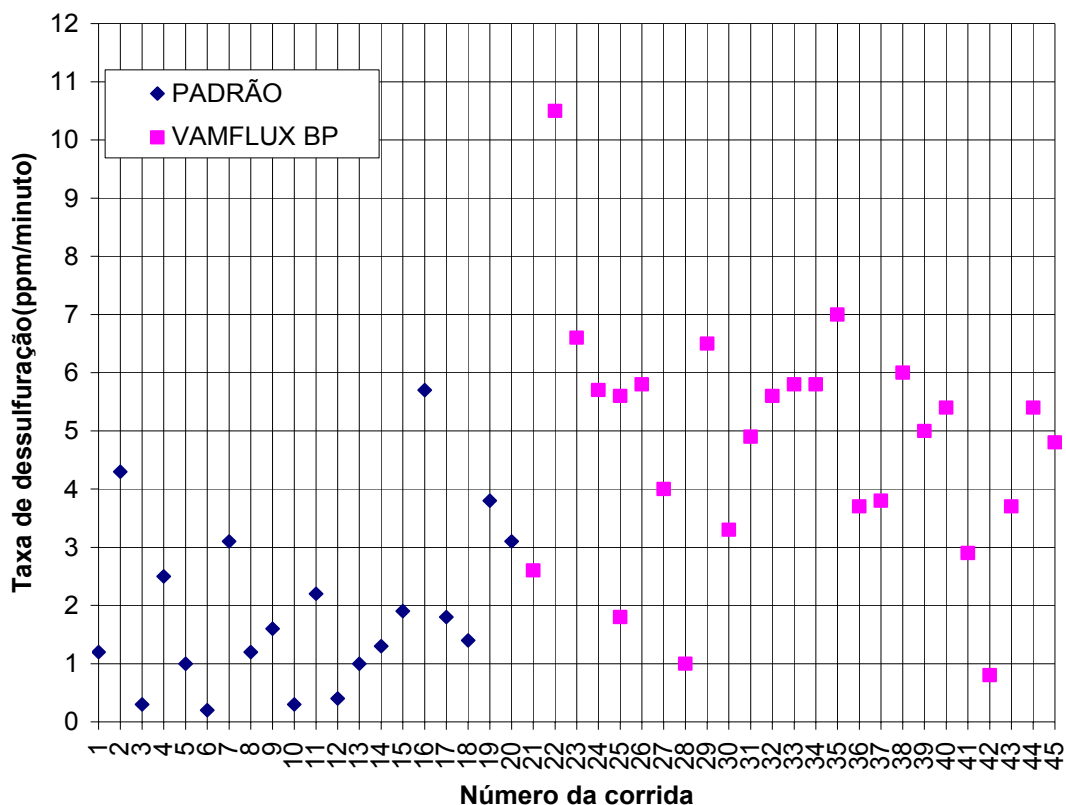
A taxa de dessulfuração manteve-se próxima dos valores obtidos nos testes preliminares.

A Figura 1 compara a taxa de dessulfuração média, durante o refino do aço na aciaria da Belgo, com o uso da escória sintética padrão e com o uso do Vamflux BP.



**Figura 1.** Taxa de dessulfuração média do aço CA50R da Belgo utilizando a escória sintética padrão e o Vamflux BP.

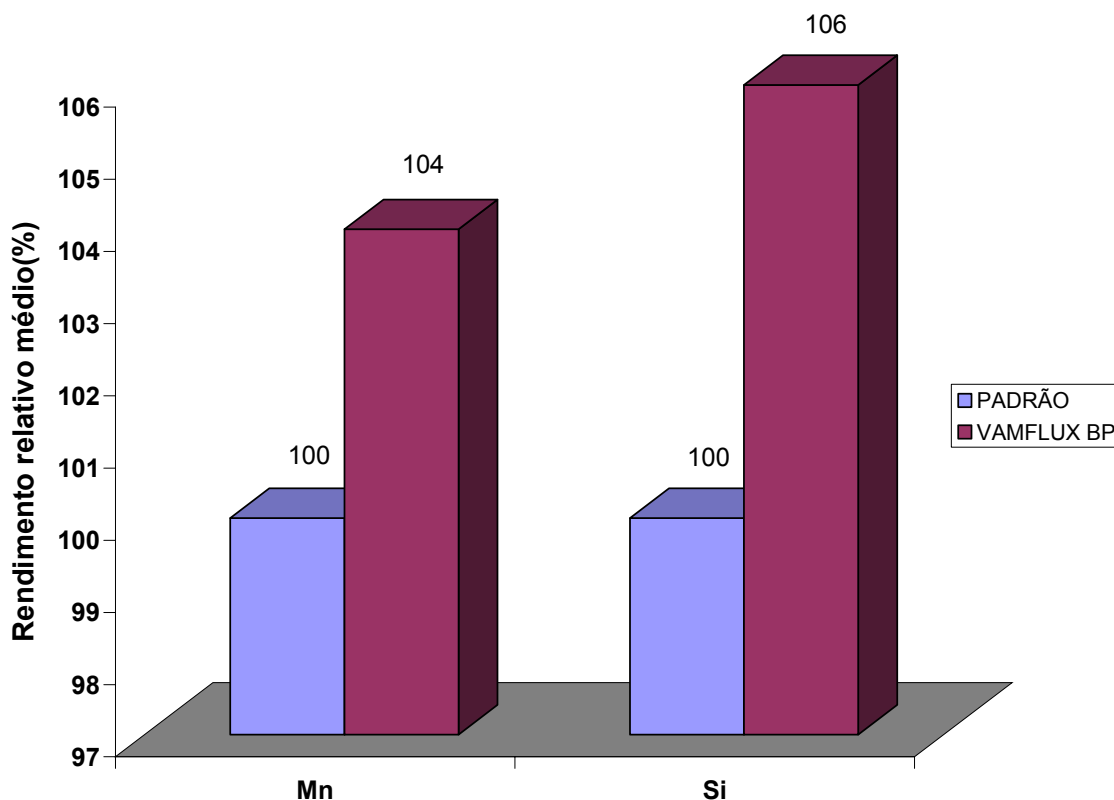
Observa-se na Figura 1 que a taxa de dessulfuração do aço com a utilização do Vamflux foi cerca de 2,5 vezes maior, em relação à escória padrão atualmente utilizada pela Belgo. A Figura 2 mostra todos os valores obtidos para a taxa de dessulfuração do aço das corridas tratadas com o Vamflux e das corridas que utilizaram a escória padrão durante o refino.



**Figura 2.** Taxas de dessulfuração obtidas utilizando a escória padrão e o Vamflux BP durante o refino do aço CA50R na aciaria da Belgo.

Pela Figura 2, nota-se que o Vamflux proporcionou os melhores resultados de taxa de dessulfuração. Verificou-se que se removeu 3 ppm de enxofre do aço/minuto ou mais em 84% das corridas tratadas com Vamflux e que, com o uso da escória padrão, somente em 25% das corridas, obteve-se remoção de enxofre do aço igual ou superior a 3 ppm/minuto.

O rendimento relativo médio de Mn e Si com uso do Vamflux foi avaliado e comparado com o mesmo rendimento no processo da Aciaria de Piracicaba com uso da escória sintética padrão. A Figura 3 apresenta os valores comparativos para os rendimentos do Mn e do Si.



**Figura 3.** Rendimento relativo de Mn e Si no aço CA50R da Belgo com a utilização do Vamflux BP.

Nota-se que o rendimento das ligas Mn e Si foi maior com o uso da escória sintética Vamflux BP, 4% e 6%, respectivamente. Basicamente, o rendimento de ligas foi maior devido à escória sintética Vamflux conter alumínio metálico e porque o processo estava mais estável com o uso do Vamflux. Assim, o alumínio metálico presente no Vamflux, preferencialmente, desoxidava o banho, evitando e minimizando a oxidação do silício e do manganês.

Devido à ótima formação de escória no momento da adição do Vamflux, a adição de fluorita no forno panela, que sempre ocorria durante o refino com a escória padrão, deixou de existir, ou seja, houve a eliminação completa da adição de fluorita no forno panela, com o uso do Vamflux BP e retirada de parte da fluorita adicionada durante o vazamento. O consumo específico médio da escória Vamflux BP foi de 2,2 kg/t<sub>aço</sub>.

#### 4 CONCLUSÕES

- 1) Com o uso do Vamflux BP da Vamtec, a taxa de dessulfuração do aço CA50R foi 2,5 vezes maior em comparação à taxa de dessulfuração obtida com o uso da escória sintética padrão, utilizada pela Belgo – Arcelor Brasil, Usina de Piracicaba, para o refino do mesmo tipo de aço.
- 2) O Vamflux BP proporcionou um aumento de 4 e 6% no rendimento de ligas, respectivamente, para o Mn e o Si, durante o refino do aço CA50R na aciaria da Belgo.
- 3) Com o uso do Vamflux BP no refino do aço CA50R foi eliminada a adição de fluorita no forno panela da Belgo.



- 4) A escória sintética Vamflux BP proporcionou melhores condições operacionais minimizando a poluição na aciaria e a adição de materiais, durante o refino do aço CA50R da Belgo.
- 5) A importância do trabalho em equipe, demonstrada entre os técnicos da Belgo – Arcelor Brasil, Usina de Piracicaba e da Vamtec, foram fundamentais para o êxito do desenvolvimento do Vamflux BP.
- 6) A importância do conhecimento metalúrgico dos técnicos da Vamtec possibilitou alterar composições e as formas de adição do Vamflux BP com segurança no processo da Belgo – Arcelor Brasil, Usina de Piracicaba.

### **Agradecimentos**

A toda a equipe da VAMTEC S/A, que não mede esforços para produzir produtos com a mais alta qualidade e ao corpo técnico da empresa Belgo Arcelor Brasil – Usina de Piracicaba pela ajuda e colaboração na execução das experiências e na elaboração do presente trabalho.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 NOLASCO-SOBRINHO et alli. Desenvolvimento de escória sintética para a fabricação de aço silício grão-orientado(GO) na aciaria da Acesita. Seminário de Fusão Refino e Solidificação, 31. ABM, ES. 2000.
- 2 CASTRO, L.F.A.; Tavares,R.P.; Sampaio, R.S. Curso: Termodinâmica Aplicada ao Pré-tratamento de Ferro-gusa. ABM. 2006.
- 3 FRUEHAN, R.J. Curso: Principles and Practices for Clean Steel Production. ABM. 2005.
- 4 FRUEHAN, R.J. The Making Shaping and Treating of Steel. 11<sup>th</sup> Edition. Steelmaking and Refining Volume. Aise Steel Foundation. 1998. 766p.
- 5 BARRIOS, S.R. Interação físico-química de escórias sintéticas com o refratário de painéis de aço. Seminário de Fusão Refino e Solidificação, 25. ABM, RS, p.253. 1993.
- 6 BARRIOS, S.R. Considerações metalúrgicas a respeito da utilização de escórias sintéticas em forno panela.Seminário de Fusão Refino e Solidificação, 26. ABM, BA, p.287. 1994.
- 7 RIBEIRO, D.B et alli. Curso: Refino Secundário dos Aços. ABM. 2004.
- 8 Slag Atlas – Verlag Stahleisen M.B.H Dusseldorf. 1981.