

# MELHORIAS DO PROCESSO DE DESSULFURAÇÃO DE FERRO GUSA COM A IMPLANTAÇÃO DO PROJETO SIRI NA USINA SIDERÚRGICA DE HUACHIPATO – CAP<sup>1</sup>

Rafael Porto de Oliveira<sup>2</sup>  
Ernesto Pavez Labadie<sup>3</sup>  
Felipe Alves Ribeiro<sup>4</sup>  
Jorge Lima Siqueira<sup>5</sup>  
Nestor Hermosilla<sup>6</sup>  
Rodrigo Salum<sup>7</sup>  
Oswaldo Gaete<sup>8</sup>  
Luis Vidal<sup>9</sup>

## Resumo

O aumento da demanda por aços de menor custo com qualidade superior tem levado as empresas siderúrgicas buscarem processos alternativos para redução de elementos residuais somado à redução de custos operacionais. Foi com este objetivo que a empresa siderúrgica CAP em parceria com a empresa refrataria Magnesita implantou em suas estações de dessulfuração o projeto SIRI, que consiste no movimento rotativo da lança em velocidade específica promovendo melhor distribuição dos agentes dessulfurantes no interior da panela e consequente desempenho da metalurgia de dessulfuração. O projeto SIRI proporcionou redução das projeções metálicas durante o tratamento, redução do tempo de tratamento, redução do consumo de agentes dessulfurantes e melhoria no processo de dessulfuração de ferro gusa.

**Palavras-chave:** Lança; Dessulfuração; Refratário .

## IMPROVEMENTS ON THE PIG IRON DESSULFURIZATION PROCESS AFTER SIRI IMPLEMENTATION ON THE HUACHIPATO STEEL COMPANY - CAP

### Abstract

The increase demand of high quality steel with low costs has motivated the companies to do investments on research and studies to implement process efficiency to reduce the cost production. With the objective to reduce the costs of the steel production and increase the steel quality, the steel company – CAP with one partnership with Magnesita Refractory was done to implement one upgrade on the desulfurization station. The project SIRI allowed the reduction of the iron losses, desulfuration time and consumption of desulfurant agents and also increased the availability of the desulfuration station by decreasing the time and frequency of desulfuration station cleaning.

**Key words:** Lance; Desulfurization; Refractory.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 44º Seminário de Aciaria – Internacional, 26 a 29 de maio de 2013, Araxá, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro metalurgista. Assistente técnico, Magnesita – CAP, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro. Assessor da Superintendência da Aciaria - CAP, Concepción, Chile.

<sup>4</sup> Engenheiro mecânico. Coordenador de implantação de novos projetos- Magnesita, Coronel Fabriciano, MG, Brasil.

<sup>5</sup> Engenheiro mecânico. Assistente técnico, Especialista em lanças, Magnesita, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>6</sup> Engenheiro metalurgista. Engenheiro Residente Magnesita – CAP, Concepción, Chile.

<sup>7</sup> Engenheiro de produção. Gerente Comercial Magnesita, Santiago, Chile.

<sup>8</sup> Técnico metalurgista. Chefe de Convertedores da CAP, Concepción, Chile.

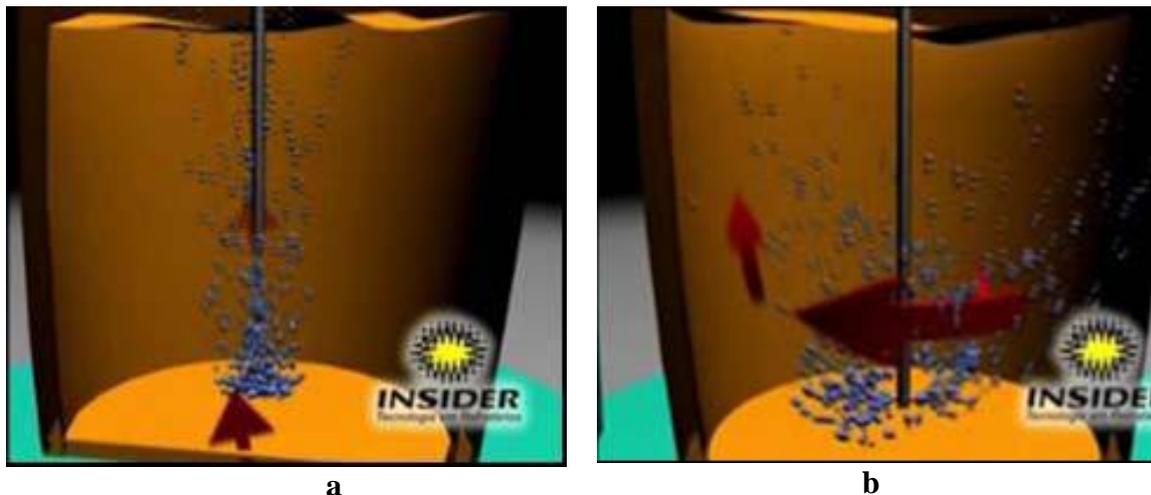
<sup>9</sup> Técnico metalurgista. Área Técnica Produção Primária da CAP, Concepción, Chile.

## 1 INTRODUÇÃO

O SIRI (Sistema de Injeção Rotativa Inovador) é uma solução desenvolvida para o aumento de performance do processo de dessulfuração. É um desenvolvimento que envolve engenharia industrial, equipamentos e refratário, proporcionando vantagens em relação ao processo de injeção convencional.

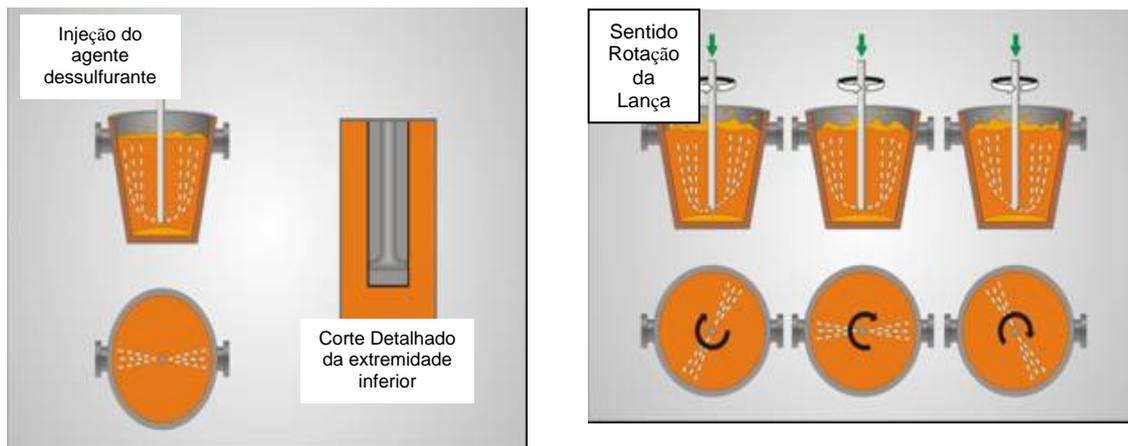
O sistema tradicional de dessulfuração consiste na injeção de agentes dessulfurantes dentro do banho metálico através de uma lança refratária sem o movimento de rotação. Esta lança possui normalmente uma saída única direcionada para baixo. Devido a pouca dispersão do agente dessulfurante no banho, um maior tempo de tratamento do gusa é necessário e maiores quantidades de dessulfurantes são utilizadas no intuito de agilizar este processo. Desvantagens adicionais deste processo é o alto nível de projeção, devido à formação de bolhas de grande dimensão no banho e o agarramento de cascão na lança devido à dinâmica do fluxo do material no interior do banho metálico.

O sistema SIRI conta com uma junta rotativa que permite o giro infinito da lança acoplado ao carro para elevação, descida e giro da lança em todos os movimentos, permitindo ainda o ajuste de velocidade. Para maior conforto e segurança na troca da lança refratária, o equipamento possui um sistema de acoplamento rápido, simples e seguro. A estrutura do SIRI é montada de forma que o centro da lança coincida com o centro da panela.



**Figura 1:** Figura ilustrativa da dispersão do agente dessulfurante no sistema convencional (a) e no sistema SIRI (b).

A lança rotativa é um sistema que utiliza a lança vertical de dois furos em forma de “T” que associado ao movimento de giro da lança proporciona uma maior eficiência na agitação do banho metálico permitindo um maior contato do agente dessulfurante injetado com o metal, e conseqüentemente melhor eficiência do processo de dessulfuração como ilustrado na Figura 2.



**Figura 2:** Desenho esquemático de injeção de agente dessulfurante para dessulfuração em panela, vista lateral e superior, de um sistema com lança de injeção rotativa.<sup>(1)</sup>

Testes comparativos mostraram que a eficiência da dessulfuração quando utilizado o sistema de lança rotativa mostrou-se 20% superior se comparado com o sistema de lança fixa. Os testes foram realizados usando como agentes dessulfurantes CaO-Mg e CaC<sub>2</sub>-Mg. Dessa forma, o consumo de agentes dessulfurantes pode ser reduzido, assim como o tempo de tratamento mantendo a mesma taxa de dessulfuração.<sup>(1)</sup>

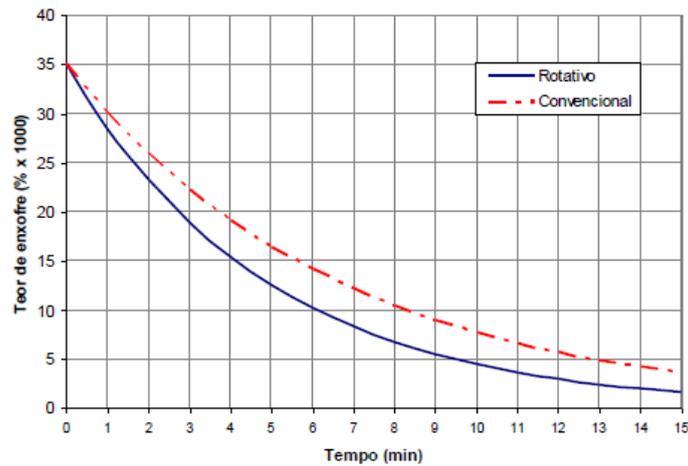
Para avaliação teórica e comparação dos dois processos considerou-se que a reação de dessulfuração pode ser descrita pela equação 1 e a partir do tempo de dessulfuração “t”, teor de enxofre inicial “S<sub>i</sub>”, e enxofre final “S<sub>f</sub>”, foi levantado o coeficiente de transferência de massa “k”.

$$S_f = S_i e^{-(kt)}$$

Equação 1

A Figura 3 mostra a curva de dessulfuração para os dois processos (com lança vertical e com lança rotativa), considerando os resultados médios obtidos em escala industrial e aplicados na equação 1. Pela análise dos resultados apresentados conclui-se que, mantendo-se o teor de enxofre visado no final de tratamento, o sistema rotativo permite uma redução no consumo de dessulfurantes e no tempo de tratamento. Teores mais baixos de enxofre também são obtidos para um mesmo consumo de agentes dessulfurantes e manutenção do tempo de tratamento.

Viana, Araújo e Siqueira<sup>(2)</sup> verificaram uma redução de 27% no consumo de magnésio para a mesma taxa de dessulfuração ou um aumento na taxa de dessulfuração de 78% para 88%, mantendo o mesmo tempo de tratamento.



**Figura 3:** Curvas comparativas de dessulfuração em processos com lança rotativa e sistema convencional.<sup>(2)</sup>

Como complemento da teoria, testes e simulações comparativos em modelos a frio foram realizados objetivando obter um maior conhecimento nos dois processos.<sup>(3)</sup>

Neste estudo foi utilizado um modelo a frio a base de água para realização dos experimentos com a lança fixa contendo um furo e com a lança rotativa contendo dois furos laterais. A Figura 4 (a) ilustra a dinâmica de agitação do banho de água com a lança fixa contendo 1 furo e a Figura 4 (b) a lança rotativa contendo dois furos laterais.



**Figura 4:** Dinâmica de agitação do banho contendo água no processo de simulação da dessulfuração do processo convencional contendo uma lança (a) e no processo SIRI com lança rotativa e furos laterais.<sup>(3)</sup>

A dinâmica de agitação do banho de água com a lança contendo um furo foi concentrada nas regiões ao redor da lança de injeção do agente dessulfurante. Neste caso não foi observado agitação da água nas regiões próximas à parede do vaso de acrílico que representa as paredes da panela de gusa. Neste experimento a profundidade de penetração da lança foi limitada considerando que no processo real o fluxo de gases contendo agente dessulfurante poderia provocar o desgaste prematuro dos refratários localizados no fundo da panela contendo metal líquido. O fluxo direcionado, neste caso nas paredes da lança refratária também implica um maior desgaste refratário da lança.

No experimento com a lança rotativa contendo dois furos laterais foi possível uma maior penetração da lança, considerando que o fluxo de gases contendo agente dessulfurante é direcionado para a lateral do recipiente. Neste caso a dinâmica de agitação do banho foi melhor distribuída em todo recipiente de acrílico permitindo o aumento do tempo de residência do agente dessulfurante, uma vez que o fluxo de gases não percorre um caminho preferencial. Na realidade industrial o aumento do tempo de residência representa o aumentando do contato dos agentes dessulfurantes com o metal implicando em uma melhor eficiência no processo de dessulfuração.

## 2 METODOLOGIA

Toda engenharia do equipamento bem como engenharia de implantação foi realizada pela equipe de engenharia e soluções da Magnesita.

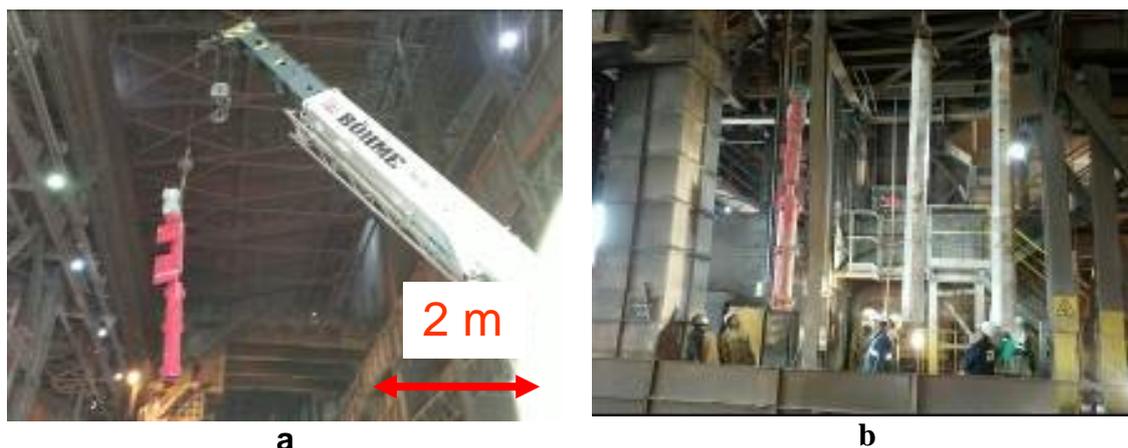
A primeira estação de tratamento equipada com o projeto SIRI foi montada no mês de julho de 2012 e a segunda estação foi montada no mês de novembro de 2012.

No planejamento das atividades foi incluso um teste preliminar a frio com o todo o sistema SIRI em uma plataforma montada nas instalações da Magnesita em Coronel Fabriciano. Nos testes o equipamento foi submetido a situações da rotina operacional e permaneceu operando por um período de 24 horas. A figura 5 ilustra a estação montada para realização dos testes preliminares.

Toda implantação do sistema foi planejada e realizada de forma a não comprometer a rotina operacional. Neste caso foi feito um estudo detalhado das interferências físicas no local com o objetivo de eliminar surpresas e comprometer o cronograma das atividades. A figura 6 ilustra parte das atividades realizadas durante o processo de implantação das estações de dessulfuração.



**Figura 5:** Estação de teste do sistema de dessulfuração SIRI instalado na unidade da Magnesita em Coronel Fabriciano.



**Figura 6:** Atividade de içamento (a) e posicionamento (b) da 2ª estação de tratamento SIRI.

### 3 RESULTADOS

Os resultados obtidos após implantação do projeto SIRI na usina siderurgia de Huachipato – CAP foram avaliados através dos resultados médios obtidos durante os meses de Agosto, Setembro e Outubro de 2012. Foram amostradas e comparadas 932 corridas tratadas na estação de dessulfuração 1 equipada com o projeto SIRI com 965 corridas tratadas na estação de dessulfuração 2 equipada com o sistema de injeção de agente dessulfurante convencional.

Os resultados médios do enxofre do gusa na entrada, antes do tratamento e valores de saída, após tratamento estão listados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Enxofre de entrada e saída da estação de dessulfuração e taxa de dessulfuração para o processo de dessulfuração convencional e Siri

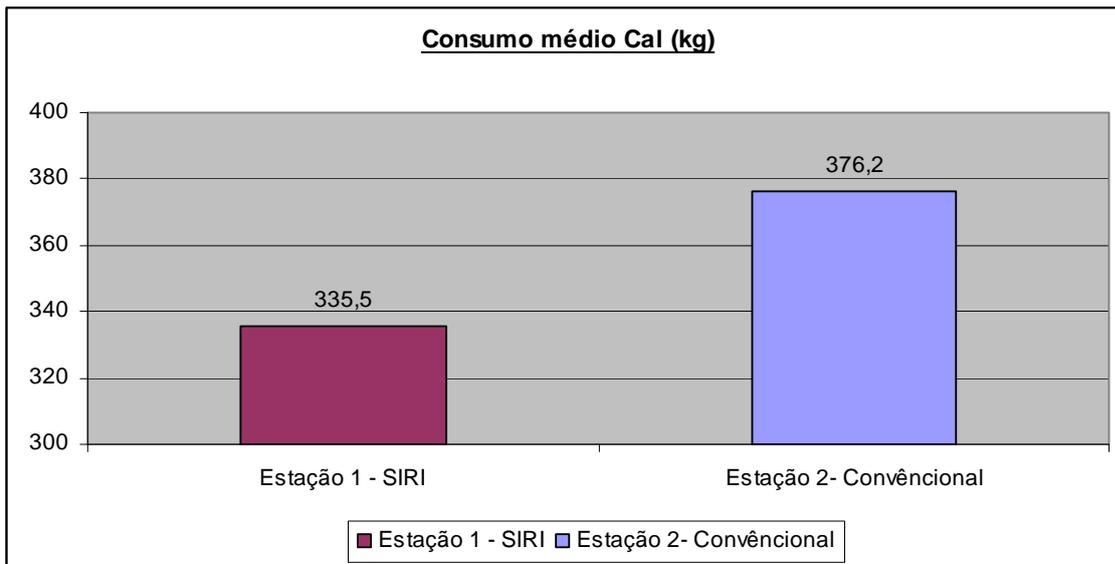
	<b>S inicial (%)</b>	<b>S final (%)</b>	<b>Taxa de dessulfuração</b>
<b>Processo CONVENCIONAL</b>	0,080	0,018	78%
<b>Processo SIRI</b>	0,077	0,016	79%

Foram avaliadas e comparadas as variáveis:

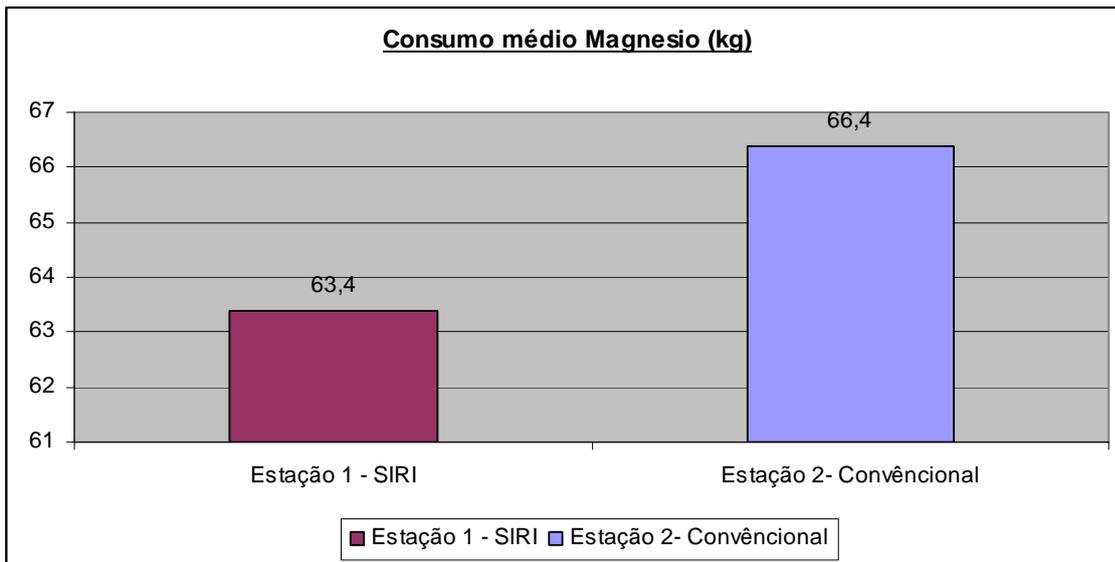
- consumo de agente dessulfurante (cal e magnésio);
- tempo de tratamento;
- frequência e tempo de limpeza do poço da estação de tratamento; e
- perdas metálicas.

#### 3.1 Consumo de Agente Dessulfurante

O consumo médio de agente dessulfurante foi reduzido com a utilização do projeto SIRI. Tanto a Cal como o Magnésio apresentaram redução. Em percentual a cal apresentou redução média 12,1% passando de 376 para 335 kg/corrida. A redução do consumo de magnésio foi de 4,1% passando de 66,4 para 63,4 kg/corrida conforme ilustrados nas Figuras 7 e 8.



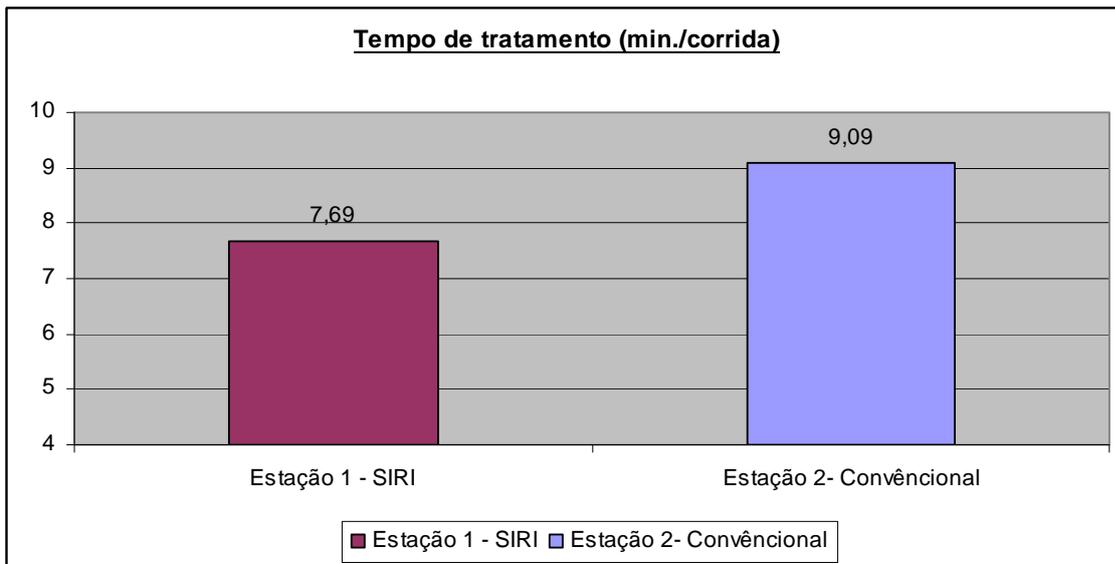
**Figura 7-** Consumo médio de Cal (kg) nas corridas avaliadas utilizando o sistema de dessulfuração SIRI e o sistema Convencional.



**Figura 8 -** Consumo médio de Magnésio (kg) nas corridas avaliadas utilizando o sistema de dessulfuração SIRI e o sistema Convencional.

### 3.2 Tempo de Tratamento

O ganho médio no tempo de tratamento por corrida utilizando o sistema SIRI foi de 84 segundos que representa uma redução média de 18,2%. Tomando como base o número de corridas analisadas utilizando a estação equipada com o projeto SIRI o ganho mensal de disponibilidade do equipamento em função da redução do tempo de tratamento é de aproximadamente 8 horas.



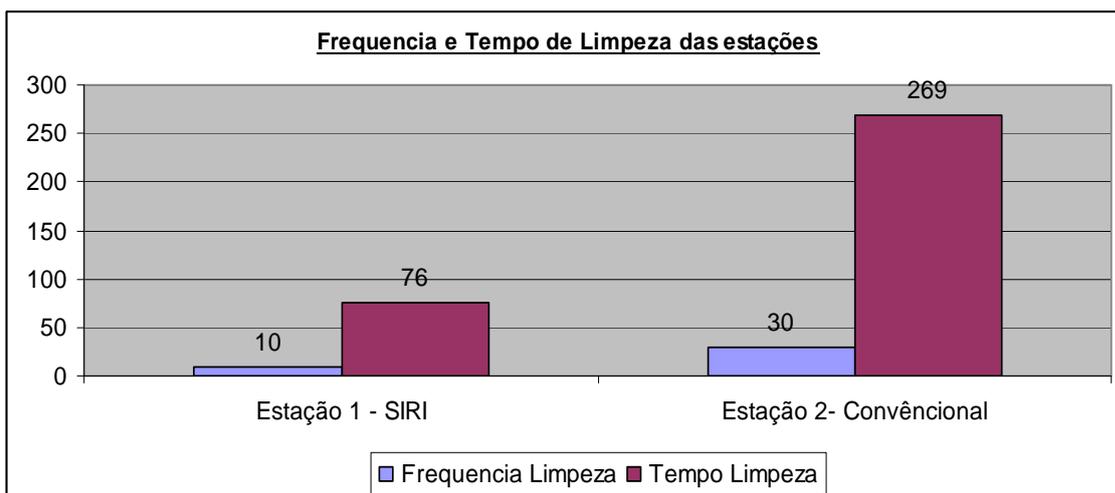
**Figura 9-** Tempo médio de tratamento nas corridas avaliadas utilizando o sistema de dessulfuração SIRI e o sistema Convencional.

### 3.3 Frequência e Tempo de Limpeza das Estações de Tratamento

Com a implantação do SIRI na estação de tratamento numero 1 a frequência de limpeza durante os 3 meses de avaliação comparativa passou de 30 intervenções para limpeza para 10 intervenções, redução percentual de 67%.

Com a redução do número de intervenções o tempo médio das intervenções apresentou redução de 72% passando de 269 horas para 76 horas no período avaliado.

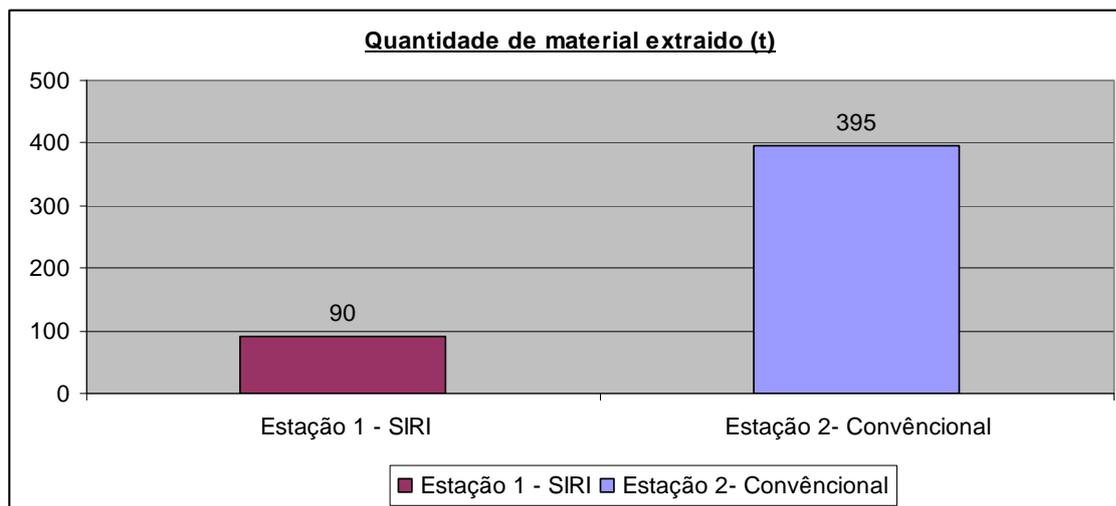
A redução do tempo despendido na limpeza das estações podem ser traduzidos em uma maior disponibilidade das estações para operação que neste caso representa uma disponibilidade extra mensal de 65 horas.



**Figura 10 -** Frequência e tempo médio de limpeza das estações de tratamento utilizando o sistema de dessulfuração SIRI e o sistema Convencional.

### 3.3.1 Perdas metálicas

A quantidade de material extraído dos fossos das estações de tratamento teve redução de 77% com a implantação do projeto Siri. Levantamento realizado pela equipe técnica da CAP determinou que aproximadamente 100 toneladas/mês de gusa são perdidas devido a projeção do metal líquido durante o processo de dessulfuração utilizando o sistema convencional. Com a implantação do projeto SIRI e redução das projeções o metal líquido anteriormente perdido pode ser direcionado para os convertedores na fase líquida, aumentando a produtividade da aciaria.



**Figura 11** Quantidade de material extraído durante a limpeza das estações de tratamento utilizando o sistema de dessulfuração SIRI e o sistema Convencional.

## 4 DISCUSSÃO

O planejamento preliminar das atividades de implantação, bem como o detalhamento dos projetos de engenharia foi imprescindível para o sucesso durante toda etapa de implantação bem como para os resultados metalúrgicos obtidos neste projeto.

Todos os resultados obtidos com a implantação do projeto SIRI na usina siderúrgica de Huachipato – CAP estão alinhados com os fundamentos teóricos do processo de dessulfuração com lança rotativa. A melhor distribuição dos agentes dessulfurantes na panela de gusa permitem aumento da interação destes agentes com o enxofre presente no metal líquido promovendo melhoria na eficiência da dessulfuração. As melhorias de eficiência no processo de dessulfuração podem ser convertidos na redução dos insumos, redução do tempo de tratamento, melhor rendimento metálico e maior disponibilidade do equipamento.

A parceria entre as empresas Magnesita e CAP foi fundamental no sucesso de implantação do sistema operacional SIRI. Toda implantação foi executada no menor tempo possível sem comprometer a continuidade operacional da aciaria.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados pela comparação do processo de dessulfuração entre o sistema convencional e o sistema SIRI podemos concluir que:

- A dessulfuração apresentou melhor eficiência com a utilização da estação de tratamento equipada como o sistema SIRI.
- Houve redução do consumo dos insumos, Cal e Magnésia utilizadas no processo de dessulfuração com a implantação do projeto SIRI. A redução foi de 12,1\$ e 4,1% respectivamente.
- O tempo de tratamento do gusa utilizando o sistema SIRI apresentou redução de 84 segundos, 18,2% de redução em comparação com o tempo utilizando o sistema convencional.
- A frequência de limpeza bem como o tempo total despendido para execução de limpeza nos poços das estações de tratamento apresentou redução de 67 e 72% respectivamente, com a implantação do sistema operacional SIRI. A redução do tempo de parada do equipamento para limpeza implica neste caso em uma disponibilidade adicional das estações em 65 horas.
- As perdas metálica decorrentes da projeção de material metálico para o fosso metálico foram reduzidas. Estima-se que a redução mensal das perdas neste caso foi de 100 t de gusa.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem as pessoas envolvidas neste trabalho em especial ao Julio Cesar da Silva (técnico mecânico Magnesita), aos operadores das estações de tratamento de gusa da CAP, à equipe técnica do departamento de manutenção da CAP, à equipe gerencial da CAP pela confiança e parceria, ao Robson Dettogne, Zelber Dettogne, Rodrigo Borges, Tiago Assis, Gilmar Carrara e João Carlos.

A Magnesita Refratários agradece nesta oportunidade a confiança e parceria concebida pela CAP em todo processo de contratação, desenvolvimento e implantação do projeto.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 SILVA, Marcos Antônio. Avaliação da utilização de agentes dessulfurantes a base de carbureto de cálcio contendo sodalita em substituição à fluorita em carro torpedo. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2012.
- 2 VIANA, J. F.; ARAÚJO, T. C. S; SIQUEIRA, J.L.; Hot metal desulfurization start up with rotating lance at Usiminas Steel Shop#2, IAS, 2007.
- 3 CASTRO, M. M; SIQUEIRA, J. L; MAGALHÃES, L, X; RIBEIRO, C, L; Dessulfuração em panela de gusa via processo de injeção com lança rotativa. XXXV Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais. XXXV Steelmaking Seminar – ABM – 2004.