

ANÁLISE DO RENDIMENTO DE FERROLIGAS EM ESTAÇÃO DE RINSAGEM UTILIZANDO O SIMULADOR DE REFINO SECUNDÁRIO DO STEEL UNIVERSITY*

*Athos Fernandes Araujo¹
Wallace Crisólogo Souza Gonçalves²
Gustavo Henrique Sousa¹
Loyslene Rabelo Fernandes¹
Roney Eduardo Lino³*

Resumo

Nos processos de refino dos aços, as ferroligas exercem um papel muito importante. E deve-se conhecer o comportamento do rendimento dessas ligas para que não sejam feitas adições desnecessárias que possam elevar os custos de produção ou até mesmo acarretar em perdas de corridas por composição química fora da faixa de especificação. Nesse trabalho foi utilizado o simulador de refino secundário do Steel University para avaliar o comportamento do rendimento das principais ferroligas em estação de rinsagem com banho metálico desoxidado ao alumínio e em banho não desoxidado. Foi possível avaliar que o comportamento do rendimento das ferroligas tende a ser mais positivo quando se é feita a desoxidação do banho metálico utilizando Alumínio briquetado. Com isso feito um comparativo do custo de produção que mostrou que, quando se conhece o comportamento dos rendimentos, é possível gerar economia para o processo.

Palavras-chave: Rendimento; Ferroligas; Rinsagem.

ANALYSIS OF FERROALLOYS YIELD IN RINSING STATION USING STEEL UNIVERSITY SECONDARY REFINER SIMULATOR

Abstract

In iron refining processes, ferroalloys play a very important role. And it is necessary to know the behavior of the performance of these alloys so that unnecessary additions are not made that can raise the costs of production or even entail in losses of races by chemical composition outside the specification range. In this work the secondary refining simulator of the Steel University was used to evaluate the performance behavior of the main ferroalloys in a rinsing station with a metallic bath deoxidized to aluminum and in a non-deoxidized bath. It was possible to evaluate that the yield behavior of the ferroalloys tends to be more positive when the metal bath deoxidation is done using Aluminium. This made a comparative of the cost of production that showed that, when one knows the behavior of the yields, it is possible to generate savings for the process.

Keywords: Yield; Ferroalloys; Rinsing.

¹ Engenharia Metalúrgica, Mestrando, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenharia Metalúrgica, Bacharel, Analista de Aplicação Pleno, Coordenação de Engenharia de Aplicação e Desenvolvimento, Saint Gobain, Vinhedo, SP, Brasil

³ Engenharia Metalúrgica, Doutor, Engenheiro de Produto, Gerência de Assistência Técnica, ArcelorMittal, João Monlevade MG, Brasil..

1 INTRODUÇÃO

As Ferroligas são produtos intermediários onde além do elemento de liga, há também quantidades significativas de ferro [1]. São usados durante o refino secundário dos aços e tem a função de conferir propriedades especiais aos aços. Porém, dependendo da quantidade em que são adicionados podem originar a formação de inclusões. As principais ligas utilizadas são: FeMo, FeNb, HCFeMn, LCFeMn, FeTi70, FeTi35, FeSi75 e FeP [2].

O rendimento dessas ligas tem um importante papel no controle de custos do processo de produção de aço, pois os custos relacionados à ferroligas são significativamente altos. Quando não há o controle adequado dos parâmetros que estão relacionados ao rendimento do ferroliga, a variabilidade do teor de um elemento é muito alta. A Figura 1 ilustra a diferença de rendimento de ferroligas entre processos onde a adição de ligas é controlada, e processos convencionais onde não há o devido controle das adições [3]. A dissolução dos elementos no banho metálico dá-se pela cinética das reações. Os valores necessários para cada elemento respeitam esses princípios e que as quantidades de ligas calculadas derivam de um balanço de massa ajustado empiricamente, como é apresentado na Equação 1 [4].

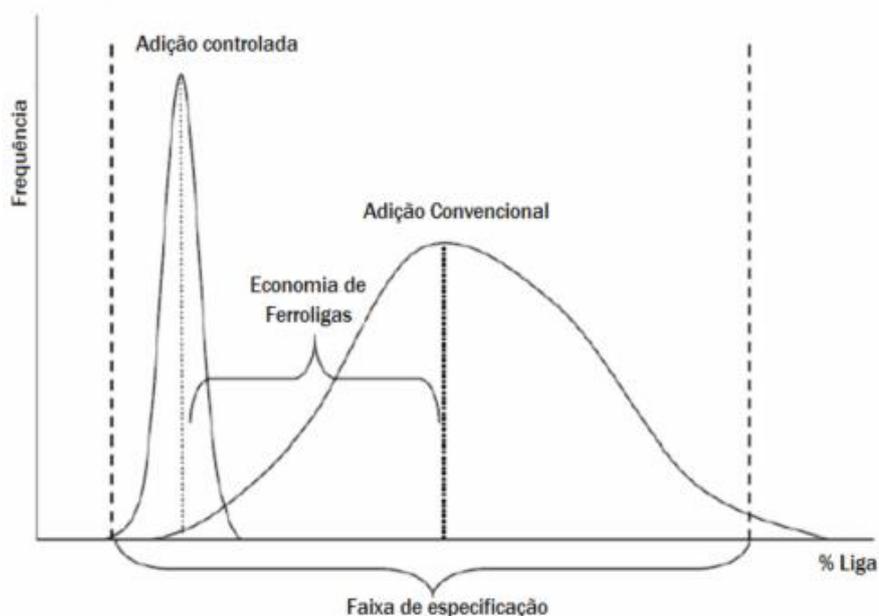


Figura 1. Diferença da adição controlada de ligas e da adição convencional utilizada por muitas Siderúrgicas

Fonte: Peaslee et al. (2005)

$$Q_L = \frac{\Delta E \times Q_{Aço}}{E_M \times Rend \times 0,01} \text{ (kg)} \quad (1)$$

Onde, Q_L , quantidade de ferroliga ou desoxidante calculado (kg); ΔE , diferença entre o teor objetivado do elemento no aço e o seu teor ao final de sopro (%); $Q_{Aço}$, massa total de aço líquido (kg); E_M , teor do elemento no ferroliga ou desoxidante (kg); Rend, rendimento do elemento E_M na correção (%).

A Rinsagem é o processo de borbulhamento de gases inertes e é utilizado em grande parte das aciarias, empregado praticamente em todas as operações de refino. É eficiente na mistura do metal Líquido e na aceleração das reações metal-escória (agitação). Normalmente são colocados no fundo da panela um ou mais

tijolos permeáveis ou porosos que permitem a passagem de um gás inerte (Argônio, Nitrogênio ou mesmo CO₂) [6].

A injeção de gases cria uma coluna de bolhas que carregam o líquido até a superfície, como ilustra a figura 2. Estas bolhas dão energia ao banho e ocasionam a recirculação do aço na panela, que acabam por tornar o banho mais homogêneo no ponto de vista químico e térmico, além de acelerar a absorção de elementos nocivos pela escória [7].

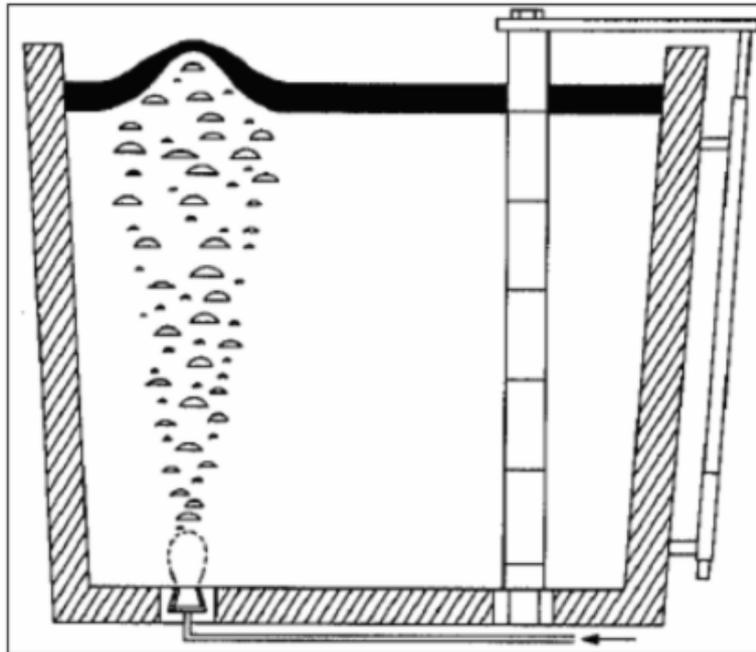


Figura 2. Esquema do comportamento do gás passando por uma panela com aço líquido

Fonte: Mazumdar et al. (1994)

O uso da simulação permite o estudo de tais processos, pois torna possível a representação dos mesmos através de modelos matemáticos que permitem o desenvolvimento de diversos experimentos com a utilização de computadores. Permitindo, além da construção de modelos, métodos experimentais que podem ser utilizados em diferentes situações, tais como, (a) descrever e explicar o comportamento de sistemas; (b) construção de teorias ou hipóteses baseadas nas observações feitas; (c) aumento do desempenho do sistema em estudo; (d) projetar novos sistemas com o desempenho desejado; (e) utilizar o modelo para prever o comportamento futuro, ou seja, os efeitos produzidos pelas alterações no sistema e em seus métodos de operação. O que torna a simulação uma ferramenta versátil e poderosa é a habilidade em testar modelos complicados referentes a sistemas complexos [8].

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi a utilização do simulador de refino secundário do Steel University para o cálculo de rendimento de ferroligas em estações de rinsagem, que visa maior produtividade, redução de desvios de processo e a redução nos custos do processo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

2.1.1 Definição do modelo

Uma das melhores formas de se controlar as adições dos ferroligas nas etapas de refino do aço através de um modelo matemático. O modelo permite o estudo do

comportamento das diversas etapas de refino. Porém para a análise dos rendimentos é necessária certa quantidade de dados experimentais. Como os processos siderúrgicos não são apropriados para a realização de testes periódicos, faz-se necessária a utilização de simuladores de processos metalúrgicos para a coleta dos dados necessários.

A Steel University disponibiliza simuladores online que vão desde o processo de redução em altos-fornos, até os processos de laminação e ensaios mecânicos. Devido à escassez de trabalhos publicados que falem sobre a confiabilidade dos simuladores da Steel University, faz-se necessária à análise da veracidade e assertividade dos dados fornecidos pelos mesmos, para que esses possam ser usados na construção de modelos matemáticos [8].

Partindo dessa premissa, decidiu-se estudar o comportamento do rendimento de alguns ferroligas, utilizando o simulador de processo de refino secundário como na figura 3. Este simulador possibilita a adição de diversos ferroligas, em diversas quantidades, em qualquer parte do processo de refino secundário. Traz também o preço de cada liga por tonelada de aço.

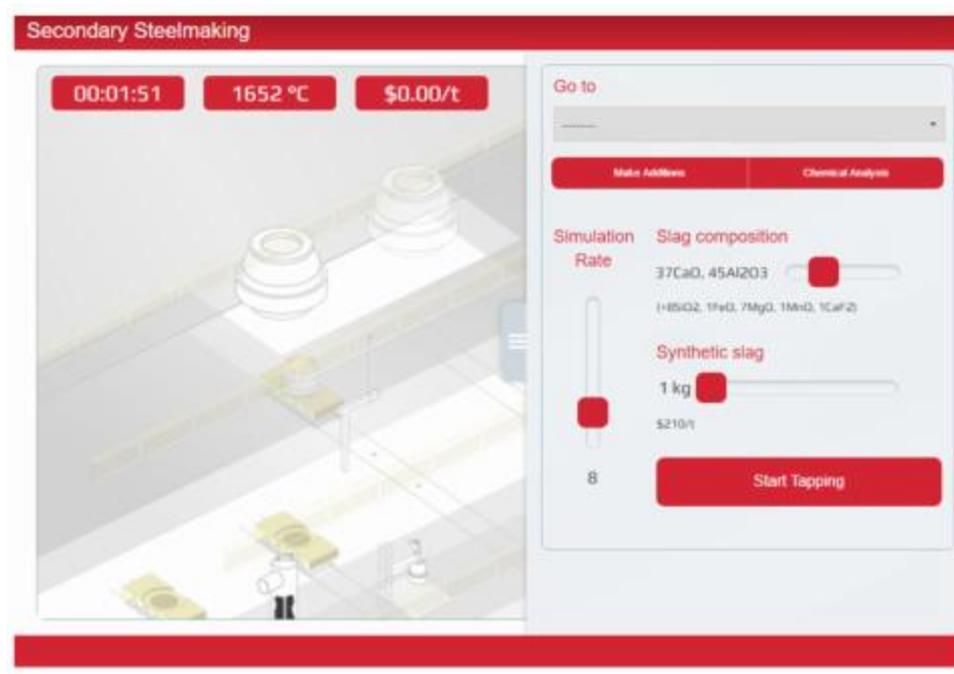


Figura 3. Simulador de refino secundário dos aços
Fonte: Steel University website (2019)

Para a realização dos testes de verificação da viabilidade da utilização do simulador, foram selecionados sete ferroligas para o estudo do rendimento em estações de Rinsagem, sendo elas, as ligas de Grafite, Ferro-Silício e Ferro-Manganês por serem as mais usadas em diversos processos siderúrgicos; as ligas de Ferro-Molibdênio, Ferro-Nióbio e Ferro-Vanádio por se tratarem de ligas mais nobres com custo mais elevado; o Alumínio Briquetado usado para a desoxidação do banho metálico nos testes de rendimento das ligas.

Conhecidos os parâmetros iniciais do simulador e suas funções, decidiu-se trabalhar com as seguintes configurações:

- Nível do Usuário: Estudante Universitário, onde há menos variação na composição inicial da corrida, o que facilita a repetição dos experimentos;
- Classificação do Aço: Aço para vigas de construções em geral;

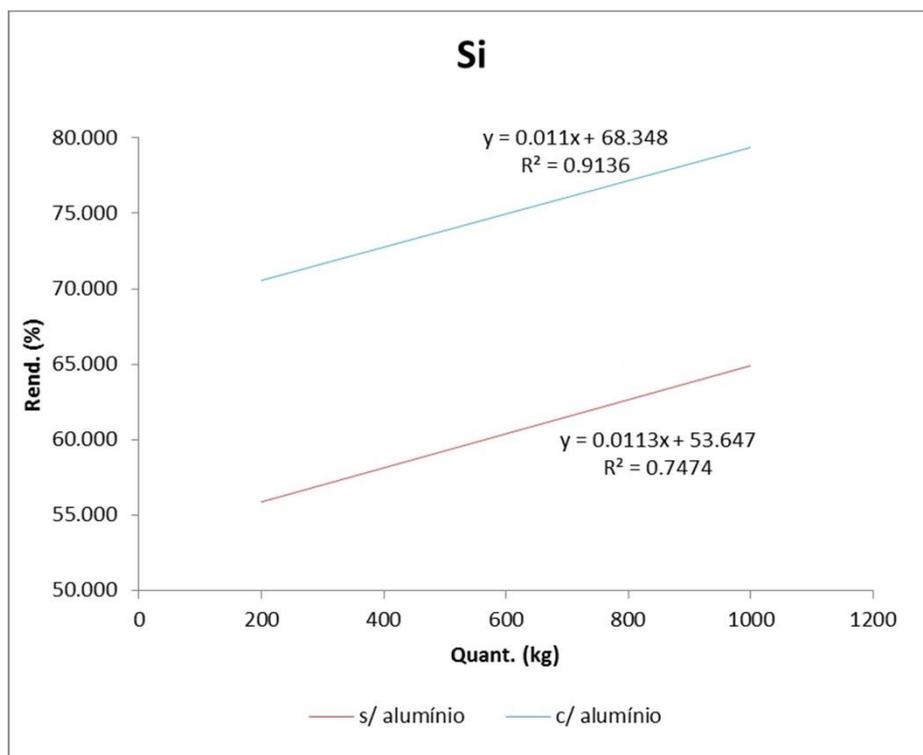


Figura 5. Rendimento de silício com e sem adição de alumínio

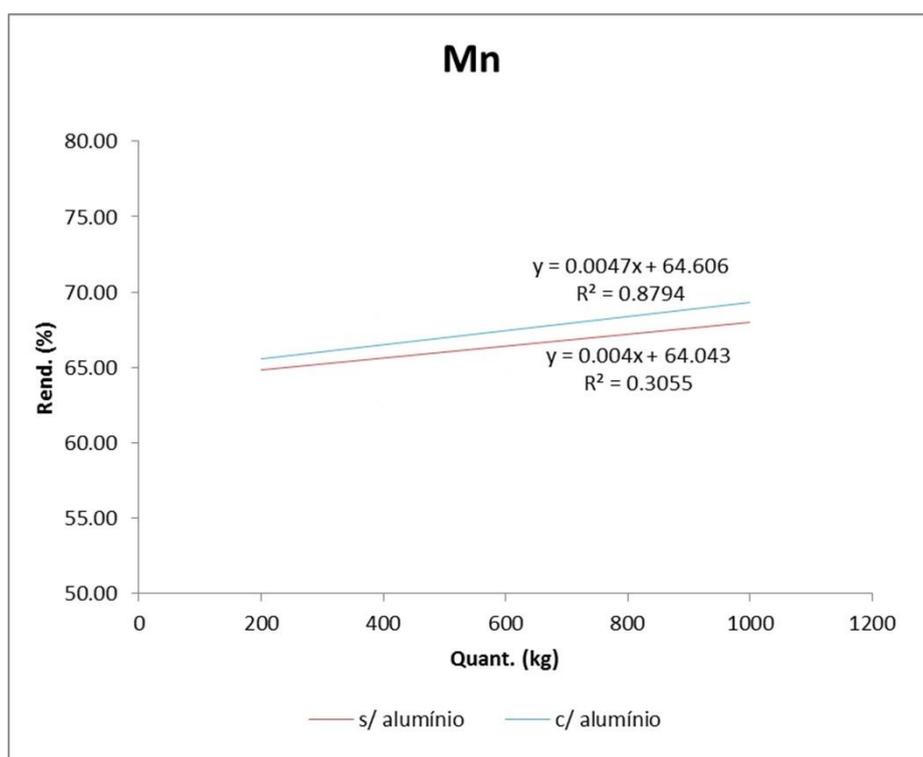


Figura 6. Rendimento de manganês com e sem adição de alumínio

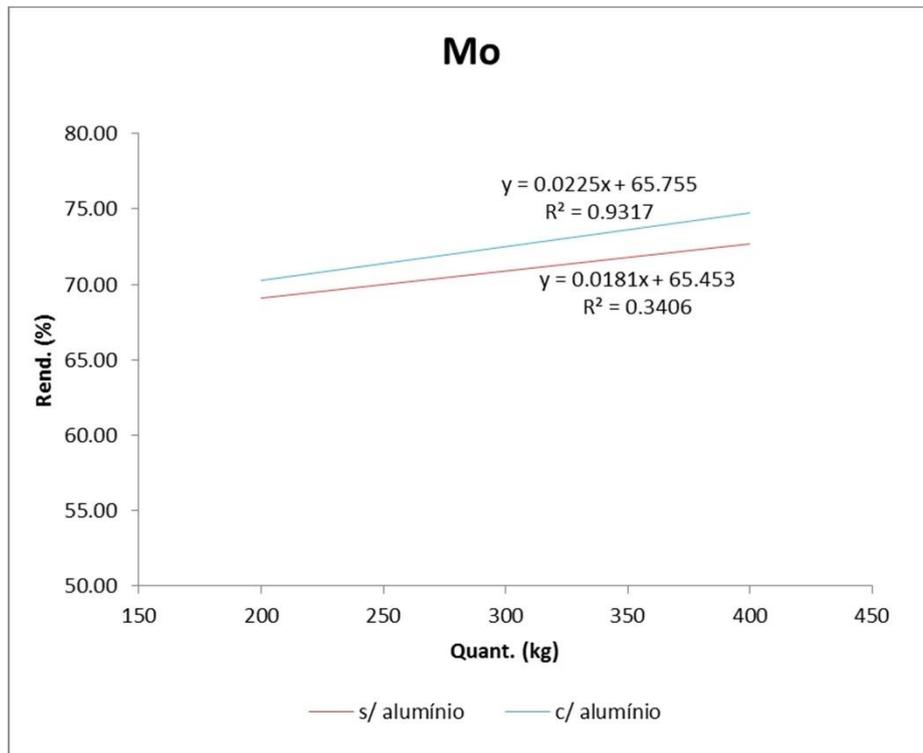


Figura 7. Rendimento de molibdênio com e sem adição de alumínio

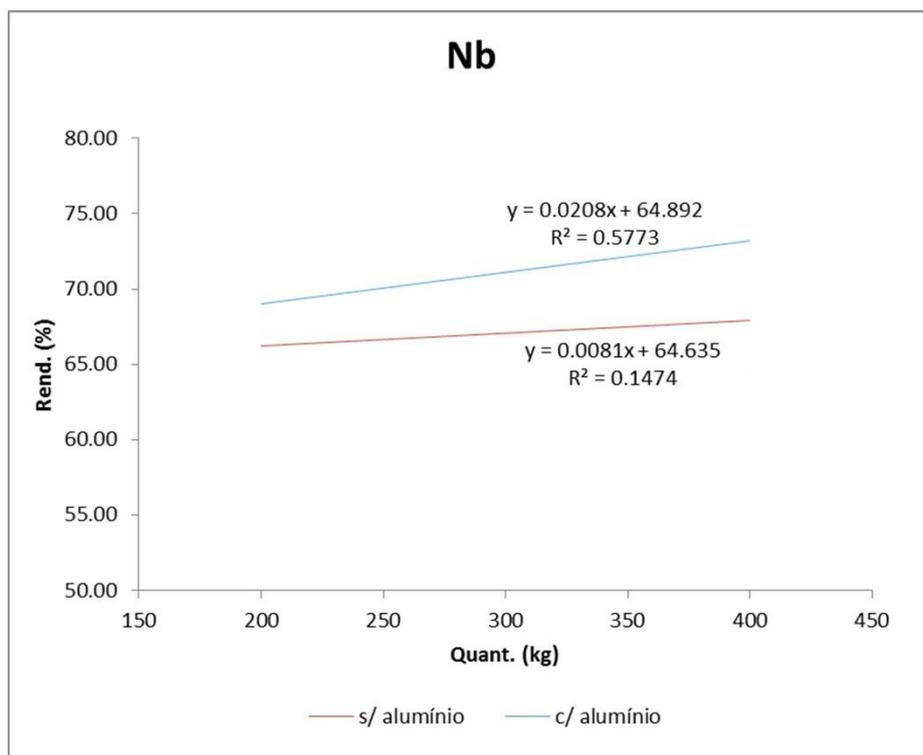


Figura 8. Rendimento de nióbio com e sem adição de alumínio

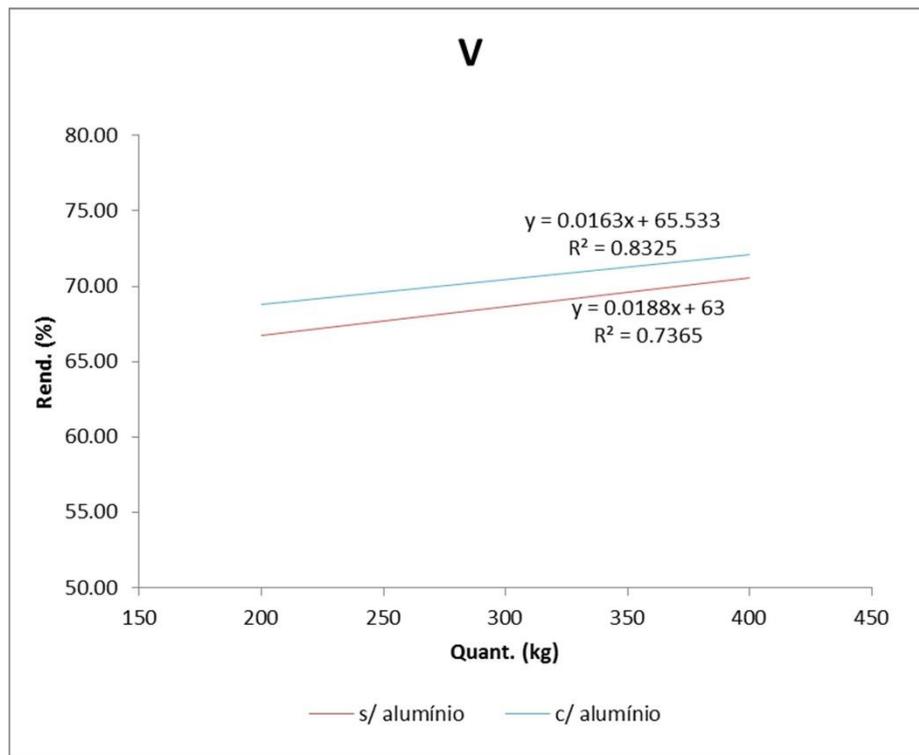


Figura 9. Rendimento de vanádio com e sem adição de alumínio

De modo geral, nota-se que há grande variabilidade do rendimento das ligas no banho metálico não desoxidado. A oxidação da liga pelo oxigênio dissolvido no banho pode ser considerada o fator primário de um rendimento pobre ou irregular. O FeSi é o ferroliga que apresenta os valores de rendimento mais baixos. Uma possível explicação pode ser a grande afinidade do silício pelo oxigênio, ou seja, o silício presente na liga, ao invés de incorporar-se no banho metálico, está fazendo o papel de desoxidante.

Uma análise interessante, neste caso, é o efeito da adição do alumínio sobre o rendimento das ligas em estudo. Nota-se que houve, não apenas um maior rendimento, mas também que os resultados se mostram mais regulares. Isso se dá pelo fato do alumínio ter maior afinidade pelo oxigênio, o que o torna um excelente desoxidante. Com menos oxigênio presente no banho, os elementos oxidam menos e são agregados ao aço líquido, ou seja, tem um aumento no seu rendimento.

Outra observação são os valores obtidos na liga de FeSi após a adição do desoxidante. Nota-se que houve um aumento significativo no seu rendimento, pois o mesmo não atua mais como desoxidante na presença do alumínio, o que favorece esse aumento.

Por uma limitação do simulador, as ligas de FeMo, FeNb e FeV só puderam ser testadas com adições de até 400 kg, porém o comportamento dos rendimentos segue o mesmo das demais ligas.

2.2.2 Análise de Preços

Tendo como base a análise química final das simulações onde não houve a desoxidação do banho e o rendimento das simulações com o banho desoxidado, foi possível recalcular a adição que seria necessária para atingir a mesma composição química final da simulação com banho não desoxidado. Esse cálculo também permitiu que fosse feito um comparativo do impacto no custo de produção,

multiplicando o preço de cada liga pela nova quantidade de liga adicionada, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Preço por tonelada dos ferroligas

Material	US\$/ton
Al	1400,00
FeV	8400,00
FeNb	9800,00
FeMo	16800,00

Fonte: Secondary Steelmaking Simulation Userguide (2004)

As figuras a seguir apresentam os resultados obtidos para as ligas de FeNb (figura 10), FeMo (figura 11) e FeV (figura 12). As barras azuis representam as adições de 200kg e 400kg, definidas anteriormente como parâmetros de simulação, e as barras vermelhas representam os valores de adição recalculados. Essas ligas foram selecionadas por se tratarem de ligas com o custo mais elevado.

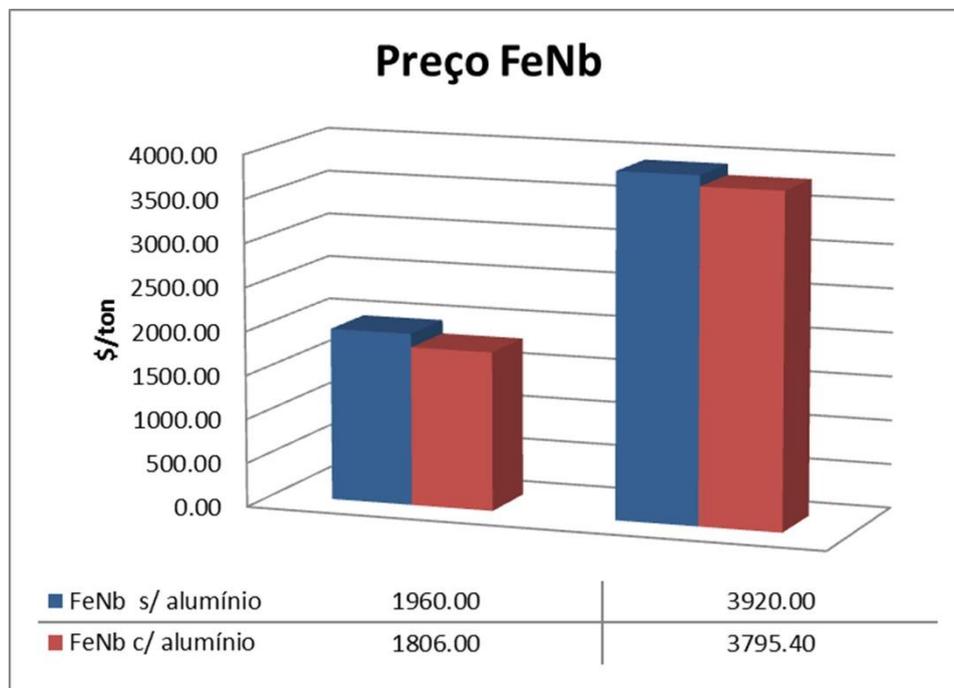


Figura 10: Comparativo de preço do FeNb com e sem adição de alumínio

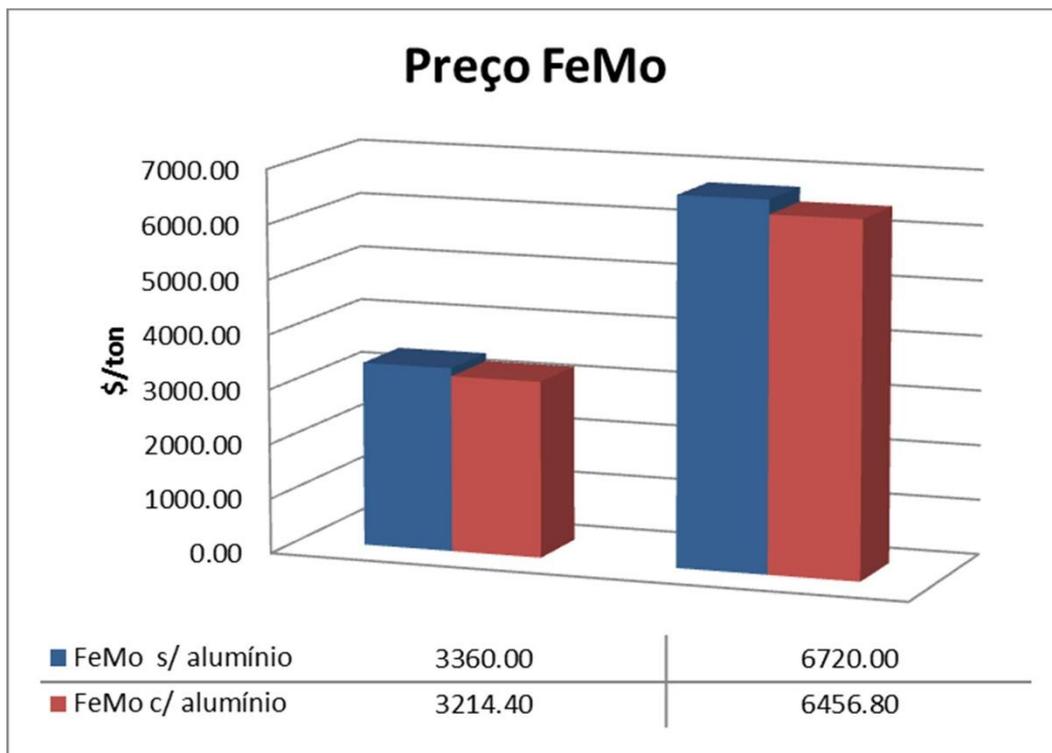


Figura 11: Comparativo de preço do FeMo com e sem adição de alumínio

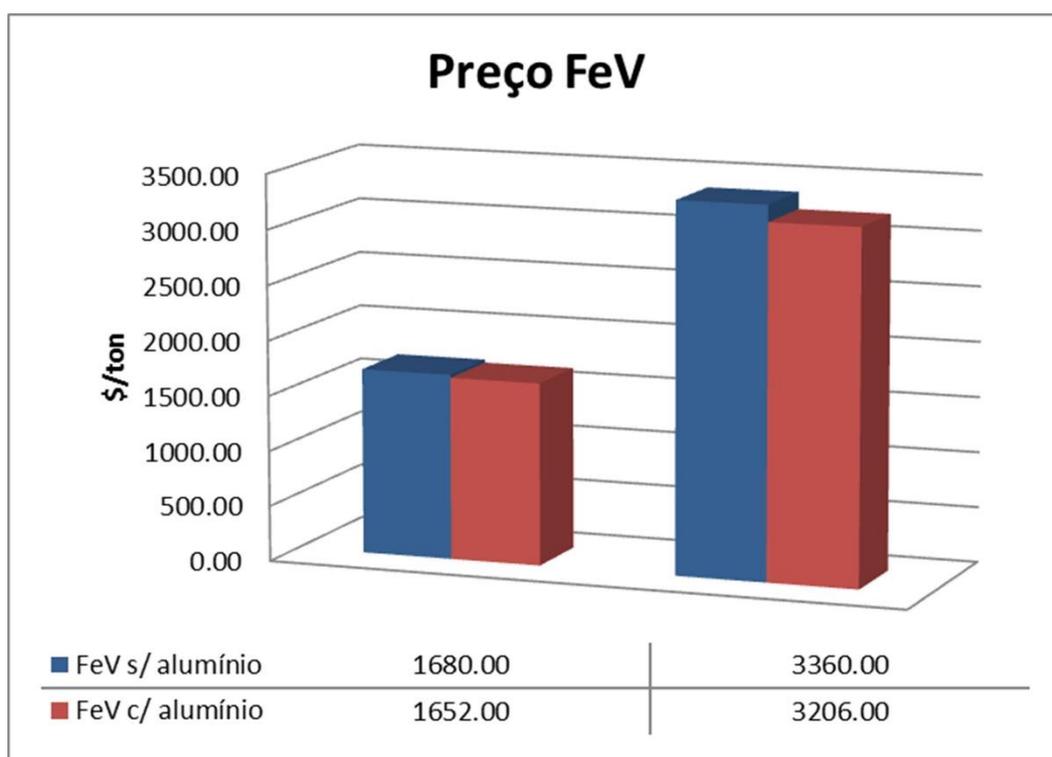


Figura 12: Comparativo de preço do FeV com e sem adição de alumínio

3 CONCLUSÃO

Com base nos experimentos realizados nas simulações, o simulador de refino secundário do Steel University aproxima-se bastante das realidades vivenciadas nas siderúrgicas. Porém há vários fatores observados a serem considerados:

- A velocidade de simulação influencia diretamente nos resultados obtidos, fazendo-se assim necessário a utilização de velocidades abaixo de 12, que foi provada ser a maior velocidade de simulação sem alteração dos resultados;
- A limitação de 500 kg de adição de ligas nobres como o FeV, FeNb e FeMo, impede que sejam feitas simulações para analisar o comportamento do rendimento dos mesmos acima dessa linha de adição, o que limita assim os trabalhos com esses ferroligas;
- Já os resultados de rendimento apresentados mostram grande similaridade com o que é descrito pela literatura. Os valores de rendimento seguiram um comportamento positivo quando o banho metálico estava desoxidado em relação aos rendimentos obtidos em banho metálico não desoxidado.
- Tais resultados também permitiram a comprovação da economia em custo de produção que pode ser obtida quando se é conhecido o rendimento da liga, o que permite maior controle na hora de se calcular as adições.
- Os resultados supracitados tornam possível a construção de um modelo matemático para cálculo de rendimento e adição de ferroligas em estações de rinsagem, com a utilização do simulador de refino secundário do Steel University.

REFERÊNCIAS

- 1 KRUGER, P. Perfil de Ferroligas: Relatório Técnico 60. [s.l.] J.Mendo Consultoria, 2009.
- 2 Pande M, et al. Ferroalloy quality and steel cleanliness. Ironmaking & Steelmaking, v. 37, n. 7, p. 502-511, 2010.
- 3 Peaslee KD, et al, Alloy Recovery and Control in Steel Melting (2005). Faculty Research & Creative Works. Paper 523.
- 4 Azevedo V, et al. Desenvolvimento de Algoritmo para Otimização das Adições de Ferroligas e Desoxidantes. Tecnologia em Metalurgia e Materiais, v. 6, n. 3, p. 174-178, 2010.
- 5 Ribeiro D, Sampaio R. Introdução ao Refino Secundário dos Aços. In: Ribeiro, D. and al. Refino Secundário dos Aços. Tradução 1. ed. [s.l.] ABM - Associação Brasileira de Metalurgia - Materiais e Minas, 2010.
- 6 Mazumdar D et al. The Physical and Mathematical Modeling of Gas Stirred Ladle Systems. ISIJ International, Tokyo, v.35, n.1,1994.
- 7 Coelho RJ. Modelo de simulação operacional do manuseio de matérias primas de uma usina siderúrgica integrada. Mestre – Universidade Federal da Paraíba, 2011.
- 8 Steeluniversity.org. (2016). steeluniversity - Learning about the steel industry. [online] Disponível em: <http://steeluniversity.org>. Acesso em 31 de maio de 2019.