

# IMPLANTAÇÃO DA DESOXIDAÇÃO DO AÇO DURANTE O VAZAMENTO COM USO DE CARBURETO DE CÁLCIO <sup>1</sup>

Breno Totti Maia <sup>2</sup>  
Fabiano Lima Monteiro <sup>3</sup>  
Gilson Menezes <sup>4</sup>  
Hélio Gabriel de Souza <sup>5</sup>  
Neivson José de Carvalho <sup>6</sup>

## Resumo

Com objetivo de promover a melhoria contínua dos aços e reduzir o custo de ligas, foram alteradas as seqüências de adição de materiais na panela com resultados positivos no rendimento das ligas adicionadas. O presente trabalho mostra e discute as mudanças promovidas em uma planta siderúrgica e a influência na alteração da composição da escória e os efeitos nos tratamentos posteriores.

**Palavras-chave:** Desoxidação; CaC<sub>2</sub>; Consumo de liga.

## DEVELOPMENT OF STEEL'S DEOXIDATION DURING TAPPING WITH CALCIUM

### Abstract

In order to promote the steels' continuous improvement and to reduce alloys' cost, the materials' sequences addition were changed in the ladle with positive results in the added alloys' yield. The present work shows and discusses the alterations promoted in a metallurgical plant, the influence in the alteration of the slag composition and the subsequent treatments' effects

**Key word:** Deoxidation; CaC<sub>2</sub>; Alloy consumption

<sup>1</sup> Contribuição técnica a ser apresentada no "XXXVII Seminário de Aciaria – Internacional da ABM", 22 a 24 de Maio de 2006 – Porto Alegre - RS.

<sup>2</sup> Sócio da ABM, Engenheiro Metalúrgico, Assessor de Processos Aciaria e Laminação – Gerdau Barão de Cocais.

<sup>3</sup> Sócio da ABM, Administrador de Empresas, Líder de Célula do LD – Gerdau Barão de Cocais.

<sup>4</sup> Sócio da ABM, Gerente de operações industriais – White Martins Iguatama.

<sup>5</sup> Sócio da ABM, Gerente de atendimento a clientes – White Martins Iguatama.

<sup>6</sup> Sócio da ABM, Técnico Metalurgista, Operador da Célula do LD – Gerdau Barão de Cocais.

# 1 INTRODUÇÃO

Após o período de oxidação, quando as impurezas são eliminadas, o teor de oxigênio do aço é muito alto. A Desoxidação é a operação na qual o teor de oxigênio do aço é reduzido até níveis compatíveis com o tipo e qualidade de aço que está sendo fabricado. Ao contrário, a Reoxidação é um efeito indesejável em que o teor de oxigênio do aço é elevado, permitindo o aumento da pressão de oxigênio e o deslocamento de equilíbrio no sentido de formação de óxidos.

Este trabalho tem o objetivo de comparar formas de desoxidação, buscando apontar seus benefícios e efeitos provocados no processo e na qualidade do aço fabricado.

## 1.1. Desoxidação com Produto Gasoso

O único produto gasoso de desoxidação que apresenta importância é o monóxido de carbono, e, por isso, a desoxidação pelo carbono é profundamente alterada por variações na pressão parcial deste gás.<sup>(1)</sup> Pode-se representar o equilíbrio desenvolvendo o sistema da seguinte maneira:



$$\ln(\%C \times \%O) = \frac{-2693}{T} - 4,771 + \ln \frac{P_{CO}}{f_C \times f_O} \quad (02)$$

A Figura 1 abaixo mostra o equilíbrio Fe-C-O a 1 atm de monóxido de carbono quando se altera a temperatura. O resfriamento cria condições para a desoxidação pelo carbono com evolução de gases, isto é, quando se diminui a temperatura, um mesmo teor de carbono admite um teor cada vez menor de oxigênio.

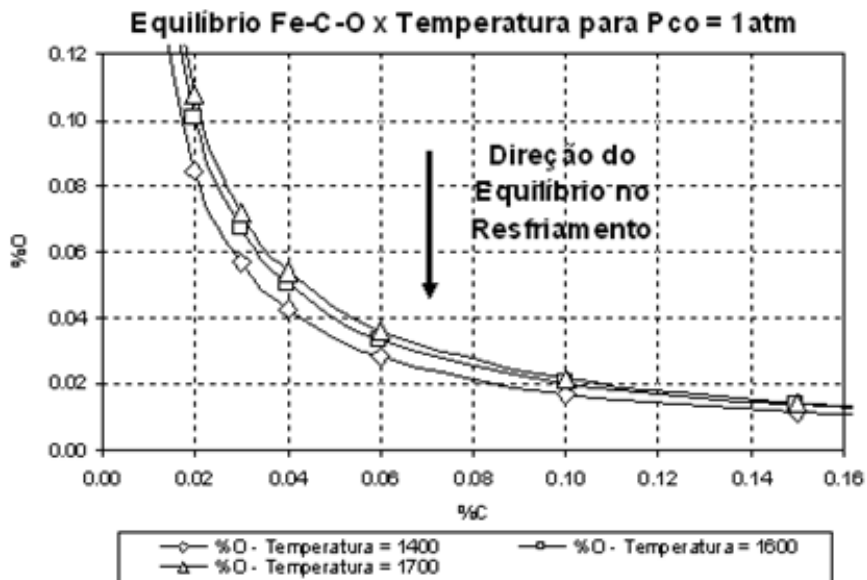


Figura 1. Equilíbrio Fe-C-O para diferentes temperaturas quando a Pressão de gás é constante<sup>(1)</sup>.

## 1.2. Desoxidação com Produto Sólido e Gasoso

O carbureto de cálcio comercial é produzido a partir da cal (CaO) e carbono em fornos a arco elétrico em temperaturas de 1800 a 2000°C. Esta é uma reação

fortemente endotérmica que termina próxima de completarem seus 80% de transformação. Os remanescentes primários desta transformação são o CaO, somado a pequenas quantidades de SiO<sub>2</sub>, MgO, FeO e SiC, FeSi<sup>(4)</sup>.

As quantidades de CaO e CaC<sub>2</sub> contidas no produto (CaC<sub>2</sub>), determinam seu ponto de fusão na faixa de 1700 a 2300°C, possibilitando que as reações de redução sejam viabilizadas nas temperaturas existentes no forno. Sendo o carbureto de cálcio adicionado sólido no aço, a reação de redução na escória CaC<sub>2</sub>-FeO ocorre na interface CaC<sub>2</sub> / escória. Para esta reação o CaC<sub>2</sub> contido e a distribuição dos tamanhos das partículas afetam a viscosidade, sendo um dos fatores importantes na determinação da cinética e eficiência da reação<sup>(4)</sup>.

A densidade do carbureto de cálcio é 2,3 g/cm<sup>3</sup> e a do aço líquido 7,0 g/cm<sup>3</sup>. Devido a esta grande diferença de densidade, qualquer CaC<sub>2</sub> adicionado ao banho e misturado com aço rapidamente flota do interior do aço para a escória.

Existem cuidados que devem ser tomados durante o manuseio do CaC<sub>2</sub> como principalmente evitar seu contato com água. Esta reação provoca a liberação de gás acetileno, altamente inflamável. Em geral, CaC<sub>2</sub> é um composto estável, a única exceção é em presença de água.

Seu uso na siderurgia é basicamente focado na dessulfuração de gusa e maior limpidez do aço, através da redução do potencial de oxigênio, o que acarreta também condições para dessulfuração do aço, e para redução de elementos de ligas oxidados durante o vazamento. O que se pretende com a utilização do CaC<sub>2</sub> é definido no momento de sua adição. Para maior limpidez, o produto é lançado logo após a formação de camada de aço na panela, já para maior rendimento de liga o produto é lançado na panela de aço no final de vazamento<sup>(4)</sup>. Qualquer destes procedimentos concentra o CaC<sub>2</sub> na interface metal / escória.

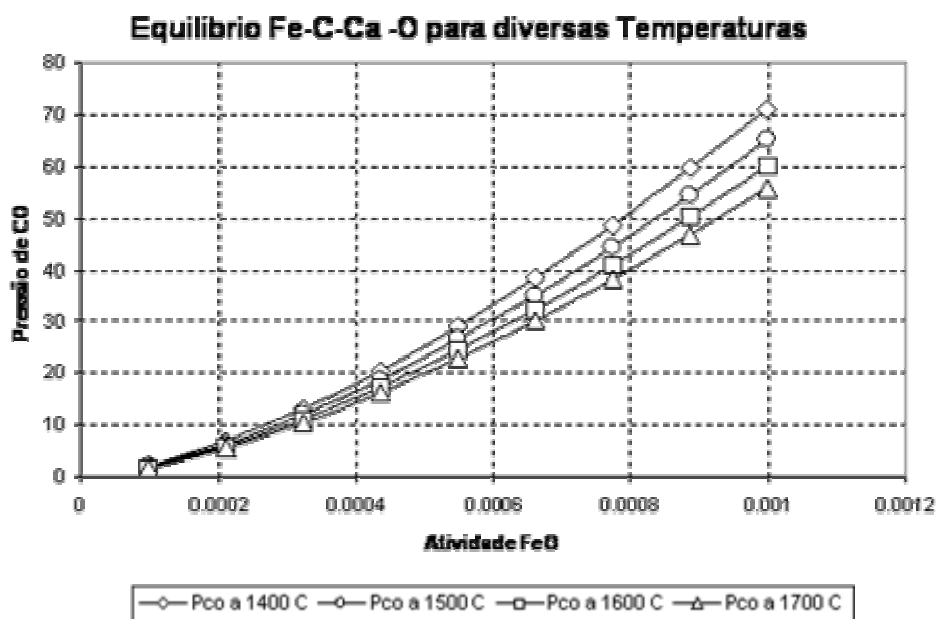
A possibilidade de formação de produtos sólidos e líquidos nas temperaturas de operação é diretamente proporcional à quantidade de CO gerado, produto da equação:



A partir da equação da reação é possível determinar uma expressão para energia livre conforme apresentado em (3). Para condição de equilíbrio termodinâmico tem-se a expressão da pressão CO em função da atividade de FeO em diversas temperaturas. Na expressão (4), o carbureto de cálcio e o óxido de cálcio são considerados sólidos puros; portanto, com atividades unitárias, da mesma forma que o ferro que é considerado como líquido puro.

$$\ln P_{CO} = \frac{10528,6}{2RT} + \frac{51,83}{2R} + \frac{3}{2} \ln a_{FeO} \quad (04)$$

A efetividade da ação do Carbureto será dada pela quantidade de óxido de ferro na escória. Pela equação 04, nota-se que por menor que seja a atividade do FeO, a pressão de gás é superior a uma 1 atm. Desta forma, as atividades do óxido ferro, mesmo em faixas abaixo das usuais de operação, indicadas na Figura 2, garantem que a reação irá acontecer em qualquer temperatura.



**Figura 2.** Equilíbrio Fe-C-Ca-O para diferentes temperaturas.

Fazendo uma análise do poder desoxidante, existe atuação do carbureto de cálcio também em outros óxidos da escória, notadamente, o óxido de manganês.

### 1.3. Evolução da Prática de Vazamento de Aço

A aciaria de Barão de Cocais, ao longo dos anos, vem evoluindo e testando alternativas durante o vazamento. A primeira forma adotada foi a utilização de Al como desoxidante no início de vazamento e adição de ligas em batelada única.

A primeira mudança na forma de vazamento tinha o objetivo de reduzir os problemas de “clogging” na válvula das painéis de aço provocado pelo alumínio e reduzir custos com o uso de material desoxidante de baixo preço. Na ocasião o material utilizado foi o coque verde de petróleo. Esta mudança foi introduzida em 1999, e a seqüência de adição de ligas na panela consistia na adição parcelada de materiais para minimizar os efeitos de oxidação da corrida, maximizar a dissolução da cal e rendimento de ligas.

A prática anterior consistia em após pequena quantidade de aço na panela entre 01 e 02 fiadas de tijolos adicionar o coque verde de petróleo para provocar a desoxidação inicial do aço vazado. Em seguida uma primeira parcela de cal dolomítica era adicionada aproveitando a agitação provocada com reação do carbono do coque com oxigênio do banho, agilizando a sua dissolução. O efeito da desoxidação inicial é visível pelas fortes chamas geradas.

Quando ocorria a redução destas chamas, eram adicionados os materiais carburantes. Com o nível de aço atingindo a metade da panela ocorria a adição da segunda parcela de cal dolomítica e iniciava-se, preferencialmente, a adição de ligas ferrosas com maiores teores de Si seguida das demais com objetivo de maximizar o rendimento de materiais de elevado custo. O carbureto de cálcio era adicionado ao final da corrida para tratar a escória proveniente do LD.

O alumínio passou a ter papel secundário utilizado apenas em casos de fortes reações provocadas por corridas extremamente oxidadas do LD.

Na busca por melhores desempenhos nos indicadores de consumos e custos a prática de vazamento vem sendo alterada como será apresentado na metodologia deste trabalho.

## 2 METODOLOGIA

Para atingir o objetivo de reduzir o consumo de ligas, foi alterado o padrão de seqüência de adição de ligas durante o vazamento de aço.

Foi alterado o momento de adição do carbureto de cálcio como desoxidante da corrida agindo no aço ou na escória formada na panela de acordo com a tabela abaixo:

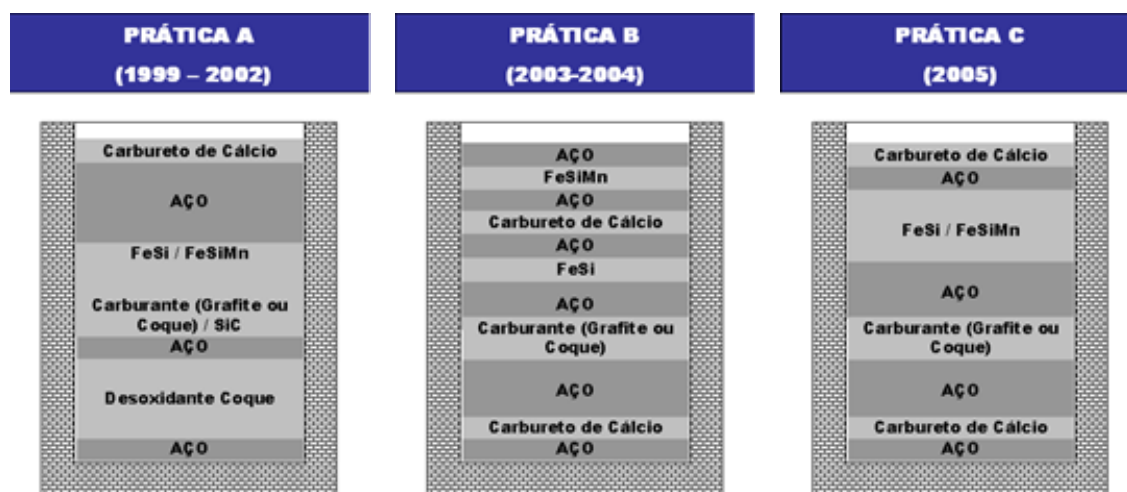
**Tabela 1.** Alterações do desoxidante na seqüência de vazamento de aço.

Prática	Objetivo	Momento	Material
A	Desoxidação banho	Início vazamento	Coque
	Desoxidação escória	Final do vazamento	Carbureto de Cálcio
B	Desoxidação banho	Início vazamento	Carbureto de Cálcio
	Desoxidação banho	Meio do vazamento	Carbureto de Cálcio
C	Desoxidação banho	Início vazamento	Carbureto de Cálcio
	Desoxidação escória	Final do vazamento	Carbureto de Cálcio

Foram medidos e acompanhados os consumos de ligas, % de FeO na escória de panela e índice de desclassificação de corrida como principais indicadores da prática desenvolvida em cada época. Índice de desclassificação de corrida representa o número de corridas com desvios acima ou abaixo da faixa química objetivada do aço desejado dividido pelo número total de corridas produzidas.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura abaixo podem ser comparadas as práticas de vazamento de aço adotadas de 1999 a 2005.



**Figura 3.** Evolução das práticas de seqüência de adição de ligas durante o vazamento de aço.

Nota-se da Figura 3, que a principal mudança foi o momento de adição de carbureto de cálcio.

Os dados de consumo e índices foram fechados mensalmente e o resultados que serão apresentados representam as médias anuais dos valores mensais. A figura 4 apresenta a evolução do consumo de ligas.



Figura 4. Consumo de ligas ferrosas.

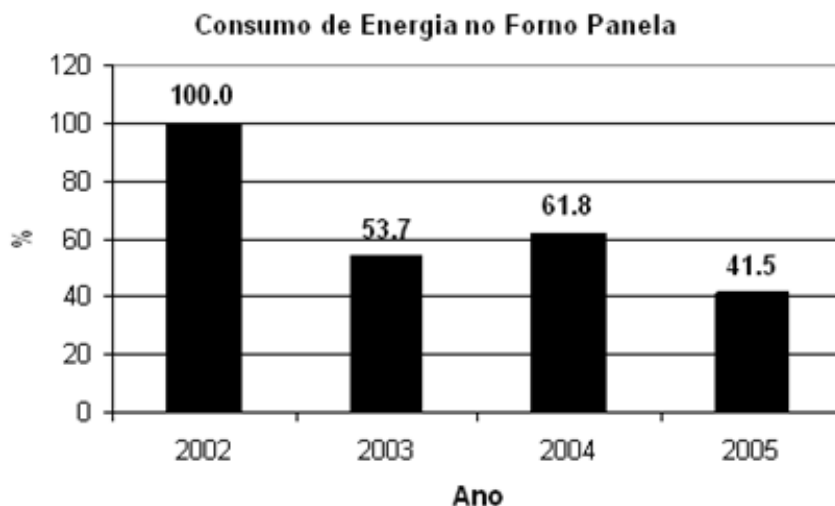
Na Figura 4, observa-se que o primeiro ano, o de 2002, foi usado de base para análise dos resultados que são apresentados em termos percentuais. A prática A predominou até 2002, a prática B nos anos 2003 e 2004 e a prática C no ano 2005. Os dados são relativos à produção predominante de aços SAE baixo carbono e o restante médio carbono.

Com a alteração introduzida na prática B, houve uma redução contínua no consumo de ligas, de 10% ao ano aproximadamente, sendo os melhores resultados obtidos com a prática C (74%), onde uma parcela do carbureto é usada para desoxidar o aço resultante do refino primário e a segunda parcela para desoxidar a escória formada durante a adição das ligas e a escória passante do convertedor.



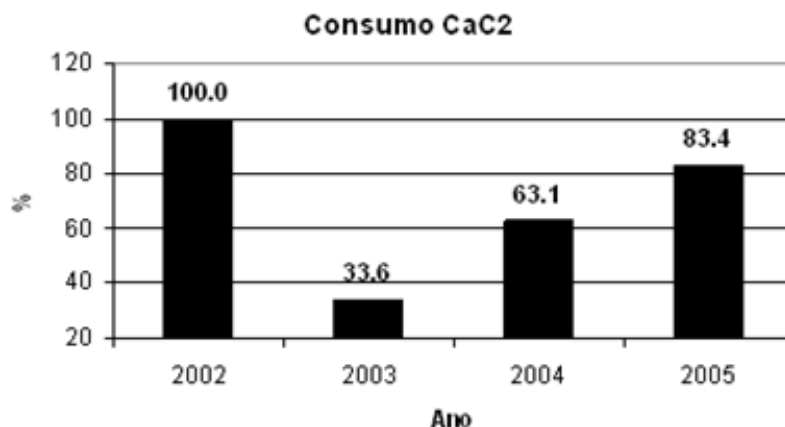
Figura 5. Índice de Desclassificação de Corrida.

Com a prática B, onde as duas parcelas de carbureto de cálcio são adicionadas durante o vazamento ocorre descontrolo sobre o mesmo, sendo a atuação do carbureto de cálcio indistinta na limpidez ou desoxidação da corrida. Associados com as condições da corrida a ser vazada, provocaram o aumento da desclassificação de corrida. Na prática C, a segunda parcela de carbureto de cálcio tem o objetivo claro de tratamento da escória passante do LD, prevenindo assim, quedas no rendimento de liga e garantindo maior estabilidade dos elementos químicos. Esta estabilidade provocou uma redução na desclassificação de aproximadamente 15% entre as práticas A e C.



**Figura 6.** Consumo de Energia no Forno Panela.

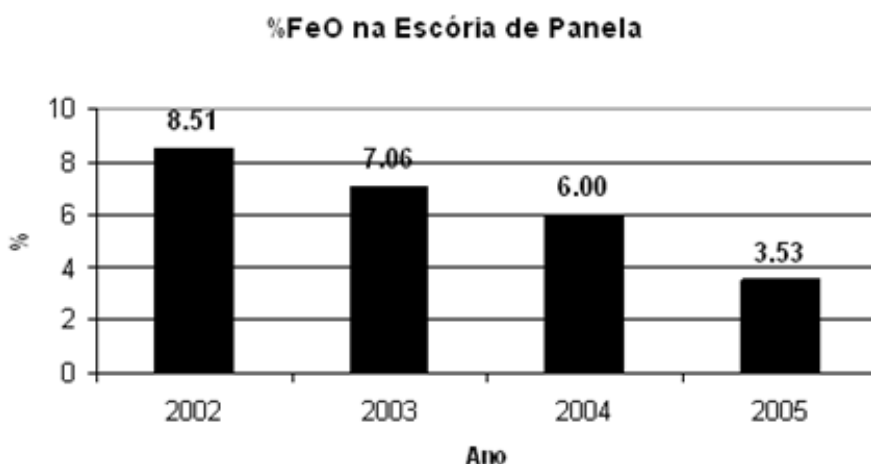
Com a adição de carbureto de cálcio, ocorre a formação de uma escória espumosa na panela de aço. Esta escória espumosa proporciona uma condição favorável para o tratamento no forno panela, protegendo a linha de escória da panela do arco elétrico, aumentando a efetividade na transferência de energia elétrica para o banho metálico. Para otimizar o uso do forno panela e o tempo para amostragens de temperatura e composição química, foram padronizados os tempos iniciais de processamento com objetivo de homogeneizar térmica e quimicamente a corrida. Esta combinação de práticas provocou um aumento na utilização do forno panela, porém com redução no consumo de energia elétrica em torno de 60% quando comparado às práticas A e C.



**Figura 7.** Consumo de carbureto de cálcio.

A redução de 70% do consumo de carbureto de cálcio entre os anos 2002 e 2003 está associada a redução do peso de material por questões de ergonomia e pela padronização de outras práticas, sendo a principal o splash físico químico no LD, onde o produto é utilizado.

O aumento no consumo de carbureto de cálcio a partir do ano 2003 está ligado ao aumento imposto pelas práticas B e C.



**Figura 8.** Porcentagem de óxido de ferro na panela de aço.

Finalmente, na Figura 8, a análise do óxido de ferro como medida de desempenho das práticas de adição de ligas, mostra que o efeito combinado do momento de adição do carbureto, a formação de escória espumosa no forno panela e a homogeneização da corrida levam a redução do %FeO na panela. Esta combinação protege a corrida de exposição com a atmosfera ambiente, reduzindo a reoxidação das ligas e a perda térmica, além da redução da agressividade da escória interferindo positivamente na vida de panela.



## 4 CONCLUSÕES

- A melhor prática para aumento do rendimento de liga consiste na adição de carbureto de cálcio no início e fim do vazamento, como descrito na prática C;
- As práticas levaram a uma redução considerável no consumo de Alumínio, sendo usado apenas para corridas extremamente oxidadas;
- A prática C reduz a desclassificação de corrida por composição química;
- A formação de uma escória espumosa reduz o consumo de energia elétrica no forno panela;
- A combinação de escória espumosa e homogeneização da corrida no forno panela reduzem o %FeO na escória de panela de aço; além de reduzir a reoxidação.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a toda equipe da Célula do LD da Aciaria de Barão de Cocais pelo empenho e entusiasmo na realização das práticas.

À Gerdau Barão de Cocais pela oportunidade de crescimento pessoal e desenvolvimento contínuo.

À White Martins Iguatama pela exercício do trabalho em equipe.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 CAMPOS, V.F. Tecnologia de Fabricação do Aço Líquido; Fundamentos. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1980. 31p.
- 2 COMMITTEE FOR FUNDAMENTAL METALLURGY. Slag Atlas. Verlag Stahleisen M.B.H. Dusseldorf, 1981. 281p.
- 3 FAULRING, G. CaC<sub>2</sub> reduction of furnace slag. Conferência Internacional de Dessulfuração e Controle de Inclusões. p.363-369. Volta Redonda, RJ.Out, 1997.
- 4 CARVALHO, J. L. R., ASSIS, P. S., CAMILO, R. D., FIGUEIRA, R. M., CAMPOS, V. F. Dados Termodinâmicos para Metalurgistas. Belo Horizonte: UFMG, 1977. 392p.
- 5 FARRELL, J. W., BILEK, P. J., HILTY, D. C. Inclusions Originating from Reoxidation of Liquid Steel. Pittsburgh: Union Carbide Corporation, 1973. 25p.