

# OTIMIZAÇÃO DA INJEÇÃO DE GÁS INERTE NO CONVERTEDOR MRP-L<sup>1</sup>

João Domingos G. de Athayde Junior<sup>2</sup>  
Hélcio de Araújo Quintão<sup>3</sup>  
Luiz Fernando Andrade de Castro<sup>4</sup>

## Resumo

Neste trabalho é mostrado os benefícios metalúrgicos que foram alcançados com a produção dos aços carbono e siliciosos de grão orientado (GO) e grão não orientado (GNO) no convertedor MRP-L da Acesita. O MRP-L que em 2001 substituiu o convertedor LD, possui um sistema de sopro combinado na qual o oxigênio é soprado pelo topo via lança e gás inerte é soprado pelo fundo através de plugues. Já o LD, possuía apenas o sistema de sopro de oxigênio pelo topo do convertedor. O foco deste trabalho está no melhor entendimento dos efeitos da vazão de gás inerte ( $\text{Nm}^3/\text{min}$ ) injetada pelo fundo do convertedor durante a produção dos aços carbono, GO e GNO no MRP-L, visando a otimização deste recurso. São mostrados as melhorias nos resultados do ano de 2004 e 2005 (Jan a Set), quando comparados com o ano de 2003, que é o ano anterior a realização deste projeto. O melhor entendimento dos efeitos das vazões de gás inerte no fundo do convertedor MRP-L, permitiu a otimização deste recurso durante a produção dos aços siliciosos de grão não orientado GNO e grão orientado GO. Este conhecimento, foi aplicado também aos aços carbono.

**Palavras-chave:** Gás inerte; Otimização; MRP-L.

## OPTMIZATION OF THE INERT GAS INJECTION IN THE CONVERTER MRP-L

### Abstract

This paper shows the metallurgical benefits gained by producing grain oriented silicon steel (GO) and non oriented grain silicon steel (NOG) in Acesita's converter MRP-L "Metal Refining Process by Lance". The MRP-L, which replaced converter LD in 2001, features a combined blowing system in which oxygen is blown from the top by a lance and an inert gas is blown from the bottom through plugs. Whereas LD had only the oxygen top blowing system. The focus of this paper is a better understanding of the effects of the inert gas rate of flow ( $\text{Nm}^3/\text{min}$ ) injected from the bottom of the converter during production of GO and NOG steel in the MRP-L, aiming at optimizing this feature. To conclude, improvement of results are shown for the years 2005 (Jan to Set) and 2004, compared to the year 2003, which is before the experiments proposed by this paper were made. The best understanding of the gas flow effects laying on the botton of the MRP-L converter, allowed the optmization of this recourse during the production of grain oriented silicon steel (GO) and non oriented grain silicon steel (NOG). This knowledge was also applied on carbon steel.

**Key words:** Inert gas; Otimization; MRP-L.

<sup>1</sup> Trabalho apresentado no XXXVII Seminário de Aciaria - Internacional, 21 a 24 de maio de 2006, Porto Alegre, RS

<sup>2</sup> Eng.º. Metalurgista, M.Sc., Pesquisador de Aciaria – Acesita – MG

<sup>3</sup> Membro da ABM, Eng.º. Metalurgista, M.Sc., Metalurgista de Produto – Acesita – MG

<sup>4</sup> Engenheiro Metalurgista, Prof. Dr. - UFMG

## 1 INTRODUÇÃO

A relevância deste projeto está na oportunidade de um melhor entendimento dos benefícios da vazão de gás inerte pelo fundo do convertedor MRP-L, permitindo a redução do custo de produção dos aços siliciosos e carbono, através do aumento do rendimento metálico e redução do consumo de alumínio.

As principais características do convertedor MRP-L são:

- sopro de oxigênio pelo topo do convertedor através da lança. O sistema permite que oxigênio e gás inerte sejam soprados simultaneamente pela lança durante a corrida;

- injeção de gases inertes Ar e N<sub>2</sub>, pelo fundo do convertedor através dos plugues.

Em 2001 devido à reestruturação da Aciaria da Acesita com o objetivo de aumentar a capacidade de produção dos aços inoxidáveis, foi necessário a aquisição de um convertedor AOD-L “Argon Oxygen Descarburation with Lance”. Esta mudança resultou na desativação do convertedor LD, que não dispunha da tecnologia de sopro de gás inerte pelo fundo e que até então produzia os aços carbono/ligado planos e não planos, além da produção dos aços siliciosos de grão orientado GO e grão não orientado GNO.

Com a desativação do LD, o convertedor MRP-L que dispõe da tecnologia da injeção de gases inertes pelo fundo, a partir de novembro de 2001, assumiu definitivamente a produção de todos os aços que até então eram produzidos no LD, além de complementar a produção dos aços inoxidáveis.

Os convertedores com sopro combinado em comparação ao convertedor LD com sopro de oxigênio apenas pelo topo, apresentaram vários benefícios no processo que impactuaram diretamente na redução do custo de produção dos aços nestes convertedores.

A partir de 2002, vários benefícios foram alcançados com a migração da produção dos aços carbono e siliciosos GO e GNO para o MRP-L. Os principais benefícios foram o aumento do rendimento metálico, redução do consumo de alumínio e fundentes, juntamente com a melhoria da performance refratária do convertedor.

A melhoria dos resultados, não se deve somente aos benefícios conseguidos com a mudança do convertedor LD para o convertedor MRP-L. No ano de 2002, realizou-se um projeto, objetivando a redução do % Si da carga (gusa e sucata) que contribui para a redução de fundentes e aumento do rendimento metálico. Outro ponto favorável do processo MRP-L quando comparado com o LD, é o retorno da ordem de 500 kg de pó do sistema de desempoeiramento, que são adicionados no convertedor, antes do início da corrida.

Apesar dos ótimos resultados alcançados, deslumbrou-se ainda, a possibilidade da redução do custo de produção dos aços carbono e siliciosos GO e GNO no MRP-L, através da otimização da injeção de gases inertes pelo fundo do convertedor, objetivando uma melhora dos resultados do rendimento metálico destes aços e redução do consumo de alumínio no GNO.

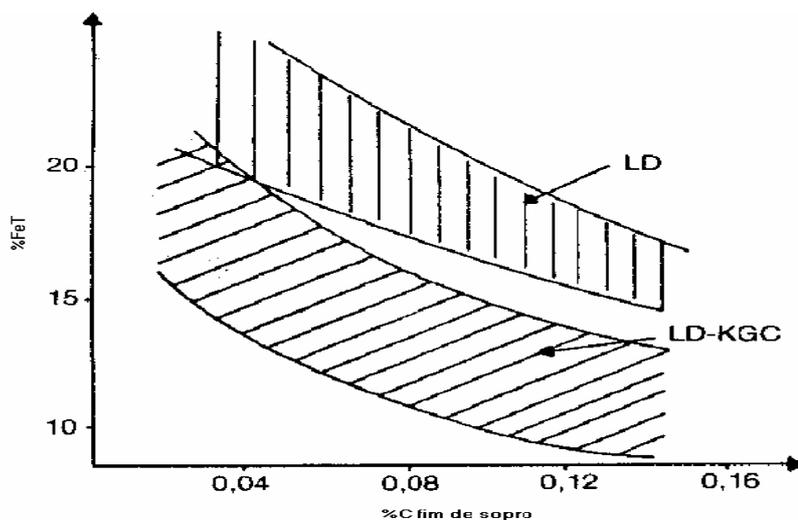
## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 A Importância do Processo de Sopro Combinado

Segundo Hambly(1982)<sup>(1)</sup>, na década de 70, iniciou-se o desenvolvimento de convertedores, que combinassem as vantagens do sopro de oxigênio pelo topo e pelo fundo. Nestes convertedores, a maior agitação do banho promovida pela injeção de gases pelo fundo, favorecem a descarburização, reduzindo o nível de

oxidação, melhorando o rendimento metálico, reduzindo o consumo de ligas e desoxidantes. Esta maior agitação, assegura uma maior homogeneidade do banho, reduzindo as diferenças de temperatura entre metal e escória, melhorando a condição de desfosforação no convertedor. A redução do nível de oxidação do banho, tem como consequência também, a redução do % ferro total (FeT) da escória, permitindo reduzir o consumo de fundentes.

A Figura 1, mostra os valores de ferro total (FeT) da escória com os valores de carbono de fim de sopro, entre o convertedor convencional LD e o convertedor LD-KGC da CST, segundo Ferreira(1989)<sup>(2)</sup>.



**Figura 1.** Relação entre o %FeT da escória e o % C fim de sopro. <sup>(1)</sup>

Os fundamentos para a realização dos experimentos deste trabalho, tem como base, um melhor entendimento dos efeitos metalúrgicos, promovidos pela injeção de gases inertes pelo fundo do convertedor MRP-L da Acesita, objetivando a redução do nível de oxidação dos aços siliciosos GO e GNO, que apresentam baixos teores de carbono objetivados no vazamento, assim como o aumento do rendimento metálico através da redução e frequência das projeções de metal e escória durante o sopro dos aços carbono e siliciosos GO e GNO.

## 2.2 Planejamento para Realização dos Experimentos

Os testes experimentais para o aço silício GNO, cujo teor de carbono objetivado no vazamento é de 400 a 800 ppm (0,04 a 0,08%), foram realizados da seguinte maneira:

1. Variando-se a vazão de gás inerte a ser injetada pelo fundo do convertedor na última fase do sopro de oxigênio da corrida em 1,5 ; 4,5 ;7,5 e 12,0 Nm<sup>3</sup>/min;
2. Variando-se o tempo de injeção de gás inerte, a ser otimizada na última fase do sopro de oxigênio da corrida em 2, 3, 4 e 5 minutos.

O objetivo dos testes experimentais no GNO, foi de avaliar a influência da variável oxigênio dissolvido no aço, com as variáveis : carbono fim de sopro, vazão de gás inerte e tempo na qual esta vazão foi otimizada na última fase do sopro de oxigênio da corrida.

Para a medição do oxigênio dissolvido no aço, durante as corridas experimentais, foram utilizados amostradores específicos.

Já para o aço silício GO, que necessariamente têm a fase do resopro, os testes experimentais foram programados para serem realizados da seguinte maneira:

1. Variando-se a vazão de gás inerte a ser injetada pelo fundo do convertedor durante o resopro em 4,5 , 7,5 e 12,0 Nm<sup>3</sup>/min.

O objetivo dos testes experimentais no GO, foi de avaliar a influência da variável volume de oxigênio do resopro, com as variáveis : temperatura fim de sopro, carbono de fim de sopro e vazão de gás inerte utilizada durante o resopro.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Experimentos com o Aço GNO

Para avaliar o efeito das variáveis vazão e tempo de gás inerte no nível de oxidação do banho, realizou-se 74 experimentos com as vazões de 1,5; 4,5; 7,5 e 12,0 Nm<sup>3</sup>/min para os seguintes tempos de 2, 3, 4 e 5 minutos de injeção de gás inerte na última fase do sopro.

##### 3.1.1 Relação do % oxigênio dissolvido e carbono no vazamento para o GNO.

A variação do teor de oxigênio dissolvido com o carbono de vazamento para os experimentos realizados com o aço GNO, é mostrada na Figura 2.

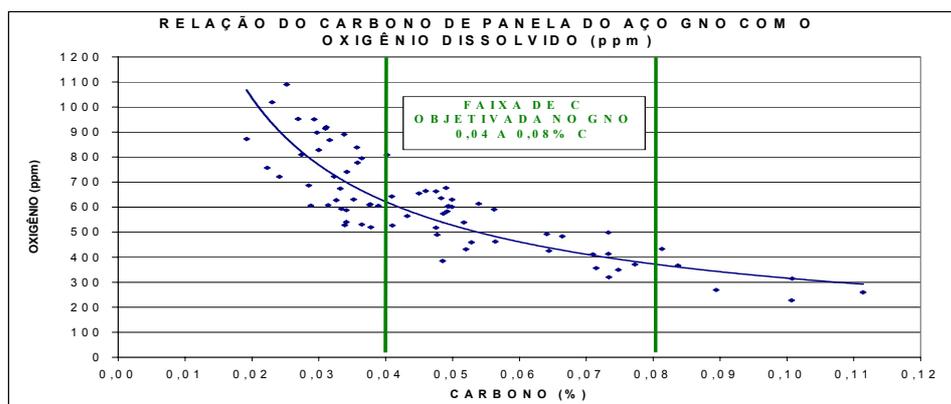


Figura 2. Relação do % de Carbono de Vazamento do Aço GNO com o Oxigênio Dissolvido (ppm)

##### 3.1.2 Equação matemática para avaliar a influência das principais variáveis no oxigênio dissolvido no aço GNO

Com o objetivo de conhecer a influência das variáveis, carbono de vazamento, vazão e tempo de injeção de gás inerte, da última fase do sopro, no nível de oxidação do banho, realizou-se uma análise estatística, na qual obteve-se através de regressão linear múltipla a seguinte equação:

$$\ln O(\text{ppm}) = -\ln (\%C) \times 0,739 -\ln(Vz) \times 0,023 -\ln (t) \times 0,028 + 4,124 \quad (\text{Eq.3.1})$$

onde:

O : teor de oxigênio dissolvido no aço em ppm,

%C : teor de carbono na panela após vazamento;

Vz : vazão de gás inerte injetado pelo plugues em Nm<sup>3</sup>/min,

t : tempo em minutos de injeção de gás inerte pelo fundo na última fase do sopro.

### 3.1.3 Relação do teor de ferro total (Fet) da escória com o nível de oxidação das corridas do aço GNO.

A Figura 3 mostra esta relação do teor de oxigênio dissolvido no aço, com o teor de ferro total da escória.

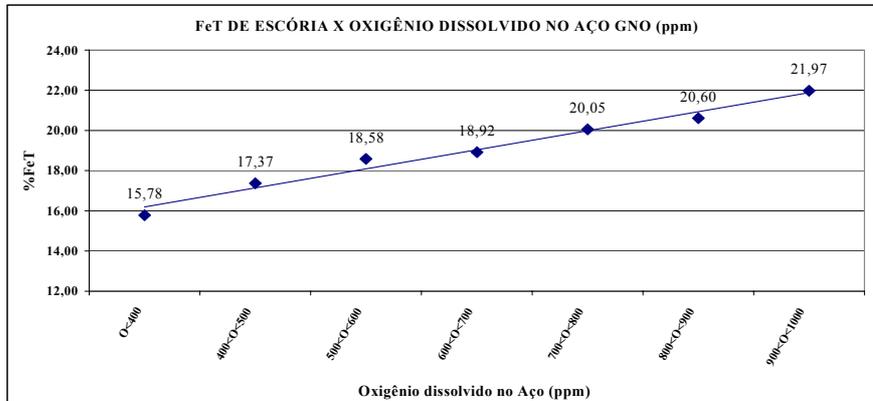


Figura 3. Relação do %FeT da Escória com o Oxigênio Dissolvido no Aço GNO.

De acordo com a Figura 3, observa-se que o aumento do oxigênio dissolvido no aço, implica no aumento do % ferro total (FeT) da escória. Isto acontece, devido a forte relação do %FeT da escória com o teor de carbono no vazamento.

### 3.1.4 Principais benefícios alcançados no aço GNO

Observa-se, que o nível de oxidação da corrida, medido pelo teor de oxigênio dissolvido no aço, tem uma forte relação com os teores de carbono no vazamento. Mas como discutido, a maior agitação do banho promovida pelo aumento da vazão de gás inerte na fase final do sopro de oxigênio reduz o nível de oxidação do aço. Como resultado prático, a redução do nível de oxidação do aço, contribuiu para o aumento do rendimento metálico e redução do consumo de alumínio do aço silício GNO. O rendimento metálico foi influenciado pela redução do %FeT da escória e pelo melhor controle do sopro devido à redução da frequência e intensidade das projeções.

A Figura 4 mostra a melhoria do resultado do rendimento metálico para o aço GNO.

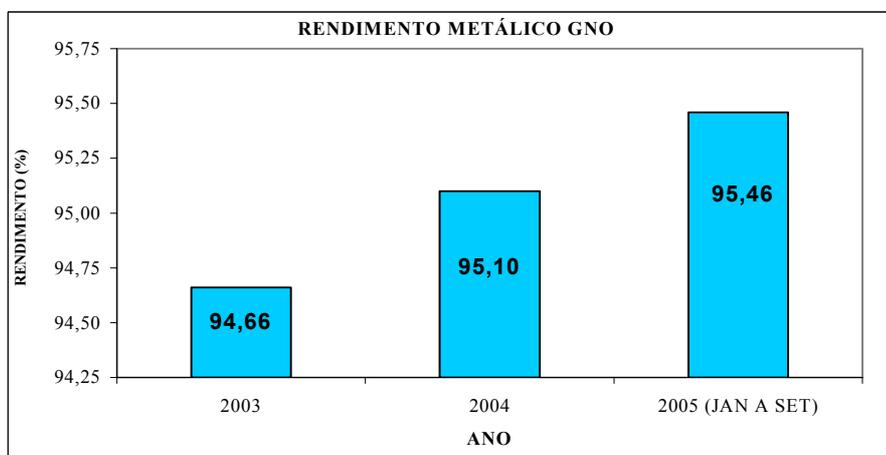
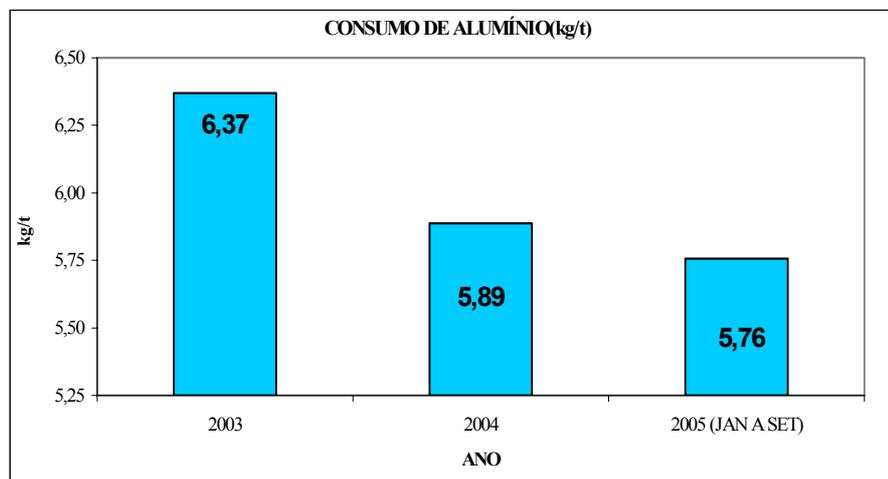


Figura 4. Evolução do Rendimento Metálico do Aço GNO.

No rendimento metálico, se compararmos os resultados de 2004 com 2003, observa-se um ganho de 0,44 pontos percentuais. Já se compararmos os resultados de 2005 com todas as práticas de produção padronizadas com o ano de 2003, observa-se um ganho de 0,80 pontos percentuais..

A Figura 5 mostra a melhoria do resultado do consumo de alumínio para o aço GNO.



**Figura 5.** Evolução do Consumo de Alumínio no Aço GNO.

Quanto ao consumo de alumínio, se compararmos os resultados de 2004 com 2003, observa-se uma redução de 0,48 kg/t. Já se compararmos os resultados de 2005 com 2003 observa-se redução de 0,61 kg/t, ou seja uma redução do consumo de alumínio, de 9,6 %.

A redução do consumo de alumínio está relacionada fortemente com a redução do nível de oxidação do banho, promovida pela alteração do padrão de sopro de gás inerte deste aço. Atualmente, na última fase do sopro de oxigênio, trabalha-se com a capacidade máxima de injeção de gás inerte pelo fundo, objetivando-se uma maior agitação do banho, melhorando assim as condições cinéticas do processo de descarburização.

### 3.2 Experimentos com o Aço GO

Nos experimentos com o GO, avaliou-se as vazões de 4,5, 7,5 e 12,0 Nm<sup>3</sup>/min de gás inerte, injetados pelo fundo do convertedor, durante o resopro.

#### 3.2.1 Prática de resopro do aço silício GO

O volume de oxigênio do resopro durante a produção do aço silício GO, é função das seguintes variáveis:

1. % de carbono e temperatura fim de sopro,
2. % carbono objetivado no vazamento e
3. vazão de gás inerte utilizada durante o resopro.

### 3.2.2 Equação matemática para avaliar a influência das principais variáveis durante o resopro do aço GO.

Com o objetivo de conhecer a influência das variáveis, carbono e temperatura de fim de sopro, vazão de gás inerte e teor de carbono na panela, no volume de oxigênio de resopro no aço silício GO, realizou-se uma análise estatística, na qual obteve-se através de regressão linear múltipla a seguinte equação:

$$\ln VO_2(\text{Nm}^3) = \ln (\%CFDS) \times 0,5491 - \ln (TFDS) \times 2,6977 - \ln (Cp) \times 0,1206 - \ln(Vz) \times 0,061 + 26,1509 \quad (\text{Eq.4.2})$$

onde:

$VO_2$  : Volume de oxigênio de resopro em  $\text{Nm}^3/\text{min}$ ,

%CFDS : teor de carbono de fim de sopro,

TFDS : temperatura de fim de sopro em  $^{\circ}\text{C}$ ,

$Cp$  : carbono de panela após vazamento,

$Vz$  : vazão de gás inerte injetado pelo plugues durante o resopro em  $\text{Nm}^3/\text{min}$ .

### 3.2.3 Principais benefícios alcançados no aço GO.

O aumento do rendimento, está relacionado à redução do volume de oxigênio do resopro e à redução das frequências e intensidade das projeções de metal e escória durante o sopro de oxigênio, devido as mudanças do padrões de injeção de gás inerte pelo fundo do convertedor.

A Figura 6, mostra a melhoria do resultado do rendimento metálico para o aço GO.

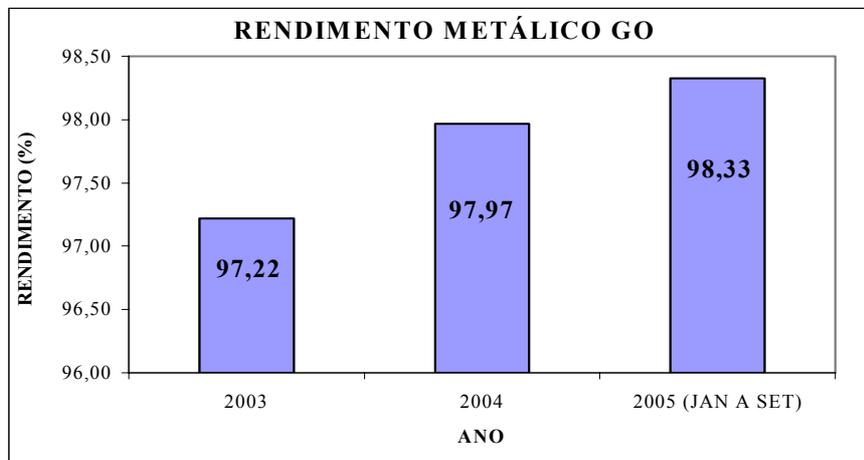


Figura 6. Evolução do Rendimento Metálico no GO.

No rendimento metálico, se compararmos os resultados de 2004 com 2003, observa-se um ganho de 0,75 pontos percentuais. Já se compararmos os resultados de 2005 com todas as práticas de produção padronizadas com o ano de 2003, observa-se um ganho de 1,11 pontos percentuais.

### 3.3 Experimentos com os Aços Carbono

Nos experimentos com os aços carbono, avaliou-se as vazões de gás inerte, injetados pelo fundo do convertedor durante as fases do sopro. O objetivo dos

experimentos foi de minimizar as frequências e intensidades das projeções de metal e escória através da adequação das vazões de gás inerte injetadas pelo fundo do convertedor.

### 3.3.1 Principais benefícios alcançados nos aços Carbono

O aumento do rendimento, está relacionado à redução das frequências e intensidade das projeções de metal e escória durante o sopro de oxigênio, devido as mudanças do padrões de injeção de gás inerte pelo fundo do convertedor.

A Figura 7, mostra a melhoria do resultado do rendimento metálico para o aço carbono.

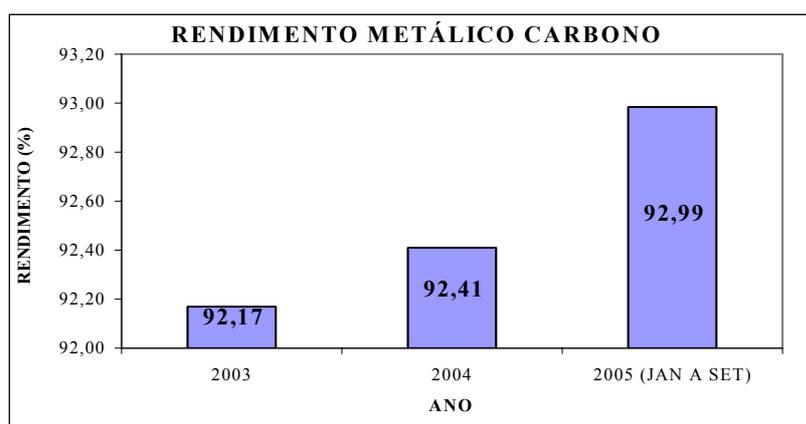


Figura 7. Evolução do Rendimento Metálico nos Aços Carbono.

No rendimento metálico, se compararmos os resultados de 2004 com 2003, observa-se um ganho de 0,24 pontos percentuais. Já se compararmos os resultados de 2005 com todas as práticas de produção padronizadas com o ano de 2003, observa-se um ganho de 0,82 pontos percentuais.

## 4 CONCLUSÃO

Os resultados dos experimentos realizados com os aços siliciosos GO e GNO, assim como nos aços carbono, permitiram estabelecer novos padrões de vazão de gás inerte  $\text{Nm}^3/\text{min}$  injetadas pelo fundo do convertedor MRP-L, durante as várias fases do processo. Estes novos padrões, foram determinantes na melhoria dos resultados de rendimento metálico, consumo de alumínio e manutenção da boa performance do convertedor MRP-L da Acesita.

## REFERÊNCIAS

- 1 FERREIRA, J.P., NAKAMURA, A.T., SOARES, L.A., COURA, J.C., Implantacion Del Soplo Combinado en Compania Siderúrgica de Tubarão – CST. Siderurgia Latinoamericana, n353.p.1-4, 1989.
- 2 HAMBLY, L.E. et al. The LBE Process at Stelco. 65th Steelmaking Conference Proceedings, Pittsburgh, Pennsylvania P.69-76. Março 1982.
- 3 KISHIMOTO, Y et al. Recent Progress in Top-and-Bottom Blown Converters at Kawasaki Steel Corporation. Kawasaki Steel Technical Report, n22. p12-21, 1990.
- 4 NILLES, P.E. New Techniques in Basic Oxygen Steelmaking. 65th Steelmaking Conference Proceedings, Pittsburgh, Pennsylvania, p.3-12. Março 1982.