

# NOVA ERA DE PRODUTIVIDADE EM CONVERTEDORES LD COM SOPRO DE JATO COERENTE - UMA REVOLUÇÃO TECNOLÓGICA<sup>(1)</sup>

José Flávio Viana<sup>(2)</sup>  
Luiz Octávio Barros de Souza<sup>(3)</sup>  
Emércio Batista Campos<sup>(4)</sup>  
Ismar Antônio Sardinha<sup>(5)</sup>

## RESUMO

O sopro de oxigênio utilizando jato coerente, foi instalado no Convertedor 5 da Aciaria 2 da Usiminas em julho de 2002. Inicialmente projetado para obter melhorias no rendimento metálico, através de redução dos níveis de oxidação (FeT na escória, Mn residual e oxigênio dissolvido no aço), possibilitou o desenvolvimento de novos modelos de refino com redução de tempo de sopro. Isto foi possível elevando a vazão máxima de oxigênio para níveis de 6,0 Nm<sup>3</sup>/(t.min), o que pode ser considerado como uma revolução tecnológica, dada sua grande flexibilidade operacional, superando consideravelmente os tempos de processo conseguidos atualmente. Com esses resultados, demonstrados industrialmente, torna-se necessário que os fabricantes de equipamentos para aciarias LD tenham uma nova visão de projeto. A partir de agora, devem considerar a utilização de vazões de sopro de oxigênio mais elevadas, bem como sistemas de retirada e tratamento de gases de maior capacidade.

**Palavras-chave:** convertedor, jato coerente, produtividade.

---

(1) Contribuição Técnica ao XXXV Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais; Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, Salvador, BA, 2004.

(2) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, M.Sc., ASQ/CQE e ASQ/CQA; Gerente de Seção de Convertedores da Aciaria 2, Usiminas; Ipatinga, MG; [jviana@usiminas.com.br](mailto:jviana@usiminas.com.br).

(3) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, M.Sc., ASQ/CQE; Gerente de Transferência de Tecnologia, Usiminas; Belo Horizonte, MG; [lbarros@usiminas.com.br](mailto:lbarros@usiminas.com.br).

(4) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, M.Sc.; Unidade Técnica da Aciaria, Usiminas; Ipatinga, MG; [ebcampos@usiminas.com.br](mailto:ebcampos@usiminas.com.br).

(5) Membro da ABM e ISS/Brasil; Engenheiro Metalurgista, MBA Executivo pela FGV/Universidade de Ohio; Gerente de Processos da Praxair Metals Technologies, América do Sul; [Ismar\\_Sardinha@praxair.com](mailto:Ismar_Sardinha@praxair.com).

# **BOF PRODUCTIVITY – NEW AGE OF TECHNOLOGY WITH JATO COERENTE™ OXYGEN BLOWING<sup>(1)</sup>**

**José Flávio Viana<sup>(2)</sup>  
Luiz Octávio Barros de Souza<sup>(3)</sup>  
Emércio Batista Campos<sup>(4)</sup>  
Ismar Antônio Sardinha<sup>(5)</sup>**

## **ABSTRACT**

The oxygen blowing using coherent jet, has been installed in Steelshop #2 of Usiminas in July 2002. In the beginning it aimed the cost reduction by the low levels of bath oxidation obtained, as measured by FeT in slag and oxygen in the bath. During the start up period, it was found that these results could be reached with the increment of oxygen flow rate up to the maximum of 6.0 Nm<sup>3</sup>/(t.min). It may be considered a technological revolution due its potential power to process time reduction. With this new parameter, the steelshop equipments makers should review their projects, like oxygen pipe lines and exhaust systems, considering this new possibilities with coherent jet.

**Key words:** LD converter, coherent jet, productivity.

---

(1) Technical Contribution to XXXV Seminar of Melting, Refining and Solidification of Metals; May 19 to May 21, 2004 - Brazilian Metallurgy and Materials Society - ABM; Salvador, BA, Brazil.

(2) Member of ABM; Metallurgical Engineer, ASQ/CQE and ASQ/CQA, M.Sc.; Manager of Steelmaking Shop #2 of Usiminas; Ipatinga, MG, Brazil; [jviana@usiminas.com.br](mailto:jviana@usiminas.com.br).

(3) Member of ABM; Metallurgical Engineer, ASQ/CQE; Manager of Technology Transfer of Usiminas; Belo Horizonte, MG, Brazil; [lbarros@usiminas.com.br](mailto:lbarros@usiminas.com.br).

(4) Member of ABM; Metallurgical Engineer, M.Sc., Process Steelshop Division of Usiminas; Ipatinga, MG, Brazil; [ebscampos@usiminas.com.br](mailto:ebscampos@usiminas.com.br).

(5) Member of ABM; Metallurgical Engineer, MBA Executive FGV/Ohio University; Process Manager of Praxair Metals Technology, South America; [Ismar\\_Sardinha@praxair.com](mailto:Ismar_Sardinha@praxair.com).

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de aço via convertedores LD já completou mais de cinquenta anos de existência. O sucesso deste processo baseou-se na expressiva redução de tempo pela utilização do oxigênio puro, soprado com jato supersônico sobre o gusa líquido. As décadas de 60 e 70 foram marcadas por grandes desenvolvimentos em equipamentos e modelos para os convertedores. Já nas décadas de 80 e 90, as atenções foram voltadas para o refino secundário, melhoria de desempenho de refratários, do *Slag Splashing*<sup>(1)</sup>, sensores sônicos para observação da emulsão de escória nos convertedores, detecção de escória durante o vazamento por imagens através de raios infravermelhos e controles de sistemas incluindo a aplicação de redes neurais.

A tecnologia de jato coerente desenvolvida inicialmente em fornos elétricos para aumentar a eficiência do sopro de oxigênio e, conseqüentemente, reduzir o tempo de processo. O sucesso desta tecnologia, utilizada hoje em mais de 70 fornos elétricos, incentivou sua aplicação em convertedores LD com o objetivo de aumentar o rendimento metálico e melhorar as condições operacionais<sup>(2)</sup>.

Em julho de 2002, foi iniciada a primeira operação comercial do jato coerente no Converteedor 5 da Aciaria 2 da Usiminas. Em 2004, entrou em operação também no Converteedor 4 da Aciaria 2 da Usiminas e está sendo instalado no Converteedor 7 da Cosipa.

## 2 SOPRO CONVENCIONAL DE OXIGÊNIO EM CONVERTEDORES LD

Os seguintes aspectos são comuns nos processos atuais de sopro em convertedores:

- o oxigênio puro é usado para oxidar as impurezas do gusa líquido;
- uma grande área interfacial é criada entre a escória, metal e gases através da injeção supersônica de oxigênio.

As vazões-limite atuais estão na faixa de 3,0 Nm<sup>3</sup>/(t.min) a 4,0 Nm<sup>3</sup>/(t.min) de sopro de oxigênio, considerando o fator de volume útil do converteedor por tonelada de aço líquido que varia entre 0,95 m<sup>3</sup>/t e 0,72 m<sup>3</sup>/t. Sabe-se que, quando o volume útil do converteedor se encontra no limite inferior da faixa, a dificuldade de sopro é aumentada devido à maior oxidação do banho metálico. A área interfacial não é suficientemente grande para a velocidade de reação esperada e, em conseqüência, provoca projeções de escória e metal para fora do converteedor, aumentando as perdas metálicas.

Além disso, o tempo de sopro, que é função do teor de silício do gusa líquido, geometria do converteedor, prática de adição de fundentes, capacidade do sistema de refrigeração e limpeza de gases, suprimento de oxigênio, características da lança/bico e quantidade de sucata adicionada, situa-se entre 15 e 23 minutos.

Para os convertedores da Aciaria 2 da Usiminas têm-se:

- volume útil de 0,72 m<sup>3</sup>/t;
- vazão de oxigênio de 3,1 Nm<sup>3</sup>/(t.min);
- sistema OG (*Offgas system*) de refrigeração e limpeza de gases com capacidade para vazão de oxigênio total até 50.000 Nm<sup>3</sup>/h;
- adição de fundentes realizada nos primeiros minutos de sopro;
- baixo índice de “projeção”, para uma adição de sucata menor que 20%;

- bico de lança com 3 furos;
- tempo médio de sopro de 17,4 minutos para um teor de carbono fim de sopro de 0,04%.

Ao estudar este processo, Brooks<sup>(3,4)</sup> apontou três razões para que o sopro convencional de oxigênio em convertedores seja ineficiente na geração de área interfacial:

- dissipação da energia cinética do oxigênio no banho metal escória;
- maior dispersão de energia cinética devido à distância relativamente grande do ponto de contato com o banho de metal;
- curto tempo de permanência das gotículas geradas na emulsão metal-escória.

### 3 CONCEITO DO JATO COERENTE NO LD

A tecnologia jato coerente caracteriza-se pelo envolvimento do jato principal de oxigênio por uma chama de gás combustível que é injetado junto com o oxigênio, figura 1.



Figura 1 – Foto do Jato Coerente.

O conceito fundamental da tecnologia jato coerente em convertedores LD<sup>(3)</sup> está ligado a uma maior força de penetração do jato de oxigênio no banho metálico, promovendo uma capacidade de mistura muito superior para qualquer posição da lança, aumentando assim a cinética de reação. Essa força do jato protegido deve-se ao retardamento do efeito de turbilhonamento existente no ambiente dos convertedores. A figura 2 apresenta um gráfico mostrando a velocidade do jato coerente comparado à do convencional, a partir do bocal de sopro. Para determinação dessas curvas foram realizadas medições em um Tubo Pitot no centro do jato.

Experiências com modelos a frio, utilizando água, nos laboratórios da Praxair, mostraram que os jatos supersônicos coerentes penetram mais profundamente no banho líquido, sem formar uma cavidade definida como no jato convencional e produzem bolhas de oxigênio submersas menores, figura 3. A redução dos tamanhos destas bolhas aumenta a área superficial de reação.

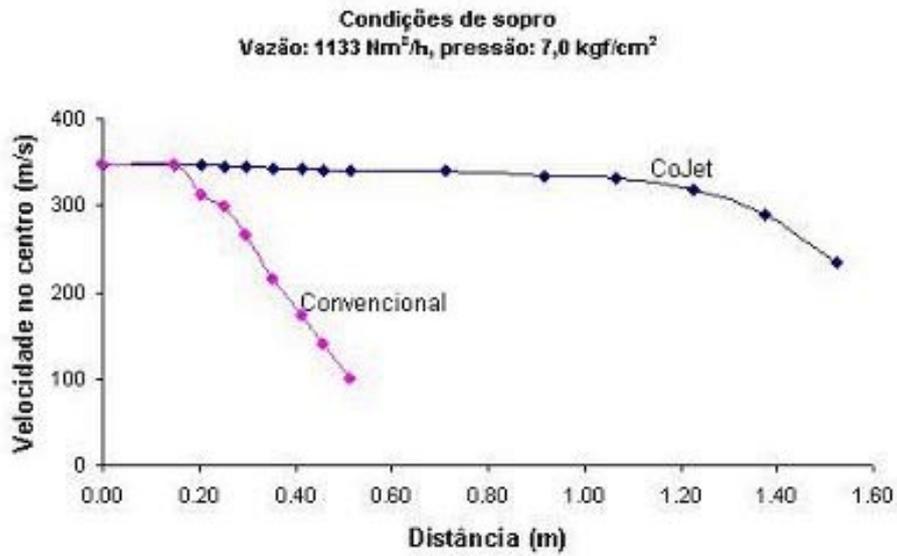


Figura 2 – Velocidade do oxigênio a partir da origem dos jatos coerente e convencional.

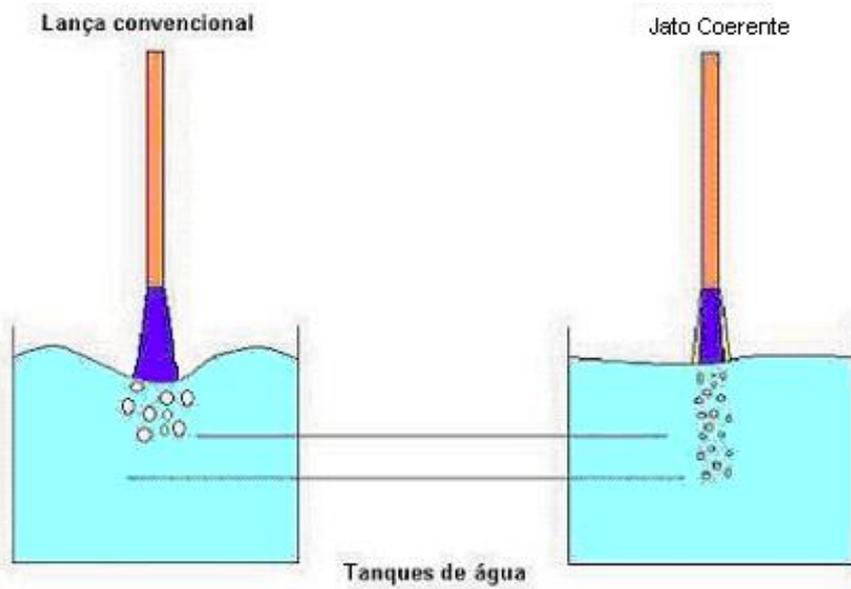


Figura 3 – Desenho esquemático de sopros convencional e jato coerente em tanques de água.

#### 4 REVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NO CONVERTEDOR 5 DA USIMINAS

Para a implantação do jato coerente, os padrões de sopro convencional foram estudados em conjunto pela Usiminas e Praxair, buscando-se a maximização dos resultados de oxidação do banho.

Definidos os novos padrões operacionais, o tempo de sopro situou-se em 14,2 minutos com vazão 40.000 Nm<sup>3</sup>/h.

Devido a estabilidade de sopro obtida com 40.000 Nm<sup>3</sup>/h, a vazão foi elevada para 45.000 Nm<sup>3</sup>/h, obtendo-se melhores resultados metalúrgicos e maior estabilidade de sopro. O tempo de sopro foi reduzido para 12,8 minutos, sendo obtidos os seguintes resultados<sup>(2)</sup>:

- redução de FeT na escória de 3%;
- aumento de Mn residual de 0,01%;
- redução de oxigênio dissolvido de 150 ppm (redução de adição de Al equivalente).

Numa terceira condição operacional, a vazão foi elevada para 50.000 Nm<sup>3</sup>/h para verificação da estabilidade do sopro. Os resultados operacionais obtidos foram os mesmos e o tempo de sopro foi reduzido para 11 minutos, figura 4. Entretanto, a limitação no sistema de captação de gases impediu a operação com essa vazão de oxigênio.

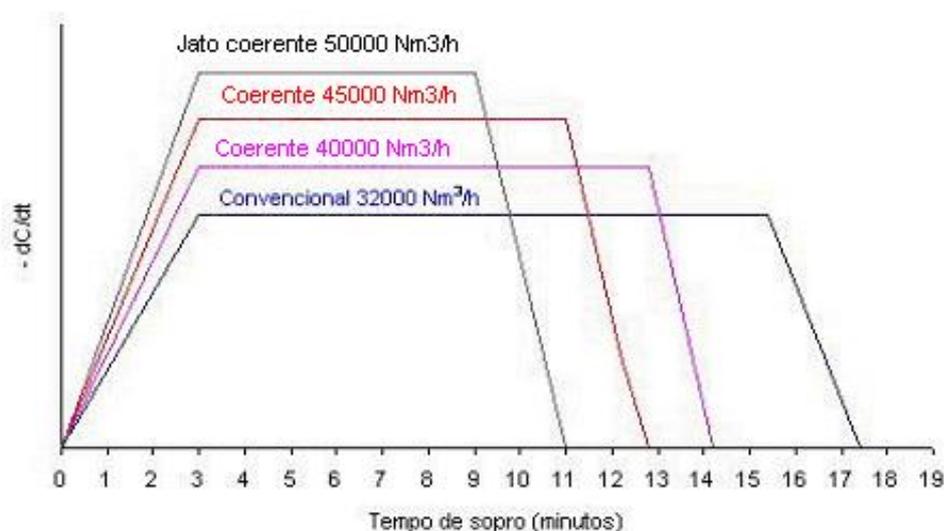


Figura 4 – Evolução do tempo de sopro com o aumento da vazão de oxigênio.

É importante ressaltar que todos os tempos de sopro foram conseguidos com o gusa líquido tendo uma análise típica mostrada na tabela 1.

Tabela 1 – Composição típica do gusa líquido da Usiminas.

Elemento	Teor (% em peso)
Carbono	4,0 a 4,3
Silício	0,40 a 0,60
Manganês	0,40 a 0,60
Fósforo	0,090 a 0,110
Enxofre	0,003 a 0,010

## 5 FUTURAS INSTALAÇÕES DE CONVERTEDORES DE SOPRO JATO COERENTE

Outras corridas foram realizadas para verificar a estabilidade do sopro, para um volume útil de  $0,95 \text{ m}^3/\text{t}$  e vazões de  $45.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  e  $50.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ , com reduções respectivas de tempo de sopro para 8,9 minutos e 8,2 minutos, figura 5.

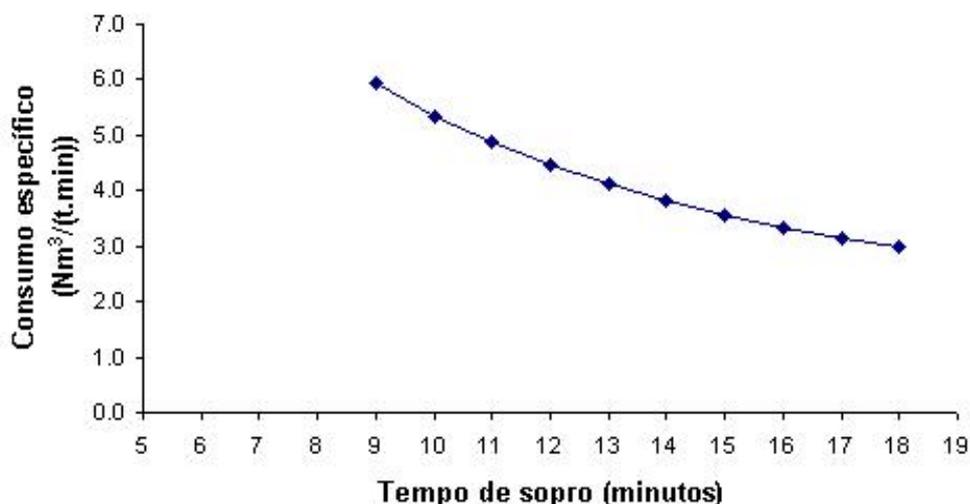


Figura 5 – Tempo de sopro de oxigênio para uma vazão específica de  $53,5 \text{ Nm}^3/\text{tonelada}$  de aço líquido.

Ao considerar-se tempo de sopro abaixo de 9 minutos, as vazões máximas de oxigênio devem ser dimensionadas para  $6,0 \text{ Nm}^3/(\text{t.min})$ . A tabela 2 mostra uma estimativa das vazões de oxigênio, para convertedores de diferentes capacidades, utilizando todo o potencial da tecnologia ato coerente.

Tabela 2 – Vazões de oxigênio para convertedores de diversas capacidades para um tempo de sopro de 9 minutos.

Capacidade (t)	Vazão de oxigênio (Nm <sup>3</sup> /h)
180	64.800
200	72.000
220	79.200
250	90.000
300	108.000
315	113.400

Portanto, as futuras instalações de Converteedores de sopro jato coerente devem considerar os seguintes parâmetros principais que podem ser limitadores atualmente:

- vazões mais altas de oxigênio, incluindo tubulações adequadas;
- sistema OG suficiente para captação dos gases produzidos;
- conjunto lança/bico jato coerente com guincho de elevação com maior capacidade.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento de produção com a utilização da tecnologia jato coerente é função da maximização do rendimento metálico e da redução do tempo de sopro. No caso de instalações existentes, este aumento de produção situa-se entre 10% e 25%. Entretanto, devem ser considerados outros fatores limitadores da produção no conjunto alto-forno - aciaria - laminação.

Para novas instalações, a produção poderá ser aumentada em até 50%, pois o projeto já contemplará os novos requisitos exigidos por esta tecnologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SARDINHA, I. - A tecnologia CoJet em convertedores LD, uma Revolução Tecnológica – **Informe Publicitário, Revista ABM**, maio/2001.
- (2) VIANA, J. FLÁVIO; CAMPOS; E. B.; SANTOS, F. D. e SARDINHA, I. - Desenvolvimento do Sopro de Oxigênio com Lança de Jato Coerente na Usiminas. In: SEMINÁRIO DE FUSÃO, REFINO E SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS – ABM, XXXIV.,2002 Belo Horizonte, MG, **Anais...** Belo Horizonte: Perspectiva, 2002. 1 CD.
- (3) BROOKS, G.A. e COLEY, K. - Interfacial Area in Top Blown Oxygen Steelmaking, **Iron and Steel Society Conference**, Nashville, 2002.
- (4) BROOKS, G. - Future Directions in Oxygen Steelmaking – **Revista I&SM**, junho/2002.
- (5) MATHUR, P.C. - CoJet Technology – Principles and Actual Results from Recent Installations, **AISE Steel Technology**, maio/2001.