

INJEÇÃO DE OXIGÊNIO AQUECIDO EM ALTOS FORNOS *HOT OXYGEN INJECTION*¹

Pedro Athias Zagury²

Resumo

A Praxair é uma das três maiores empresas de gases industriais do mundo, com atuação em mais de 40 países. Cerca de 14% das vendas são destinadas à indústria siderúrgica. A Praxair possui experiência para fornecer produtos e serviços para todos os tipos de siderúrgica. Diversas tecnologias desenvolvidas pela Empresa, como o *CoJet*[®] (sistema para injeção de jato coerente de oxigênio em fornos elétricos e conversores), *Slag Splashing* (espalhamento de escória nas paredes de conversores, aumentando a vida útil dos refratários), *AOD* (processo para produção de aços especiais) e outros, encontram-se em operação comercial atualmente em diferentes partes do mundo. No Brasil, a PRAXAIR é a controladora da White Martins, maior empresa de gases industriais da América do Sul, presente em nove países do continente. Seu portfólio de produtos inclui os gases atmosféricos produção de gás carbônico, acetileno, hidrogênio, gases especiais e medicinais, misturas para soldagem, cilindros de aço sem costura, equipamentos para aplicação, transporte e armazenamento de gases. Recentemente a empresa iniciou a operação de uma unidade para liquefação de gás natural. O presente trabalho tem por objetivo mostrar os potenciais benefícios do *Hot Oxygen Injection*, um sistema para injeção de finos de coque ou de carvão em altos-fornos desenvolvido pela Praxair, capaz de realizar a injeção de finos em taxas superiores a dos sistemas atualmente conhecidos. O *Hot Oxygen Injection* é capaz de aumentar a capacidade de queima dos finos injetados, tornando este incremento viável.

Palavras-chave: Injeção de finos; Alto-forno; Carvão; Carvão vegetal; Coque.

HOT OXYGEN INJECTION FOR BLAST FURNACES

Abstract

Praxair is one of the largest industrial gases producers of the World, being present in more than 40 countries. Around 14% of Company's sales are to the steel industry. Praxair has experience to supply products and services to all kinds of steel mills. Several technologies developed by the Company, such as *CoJet*[®] (a system to coherent oxygen jet injection in EAF and BOF furnaces), *Slag Splashing* (splashing slag to cover BOF furnaces walls increasing refractory wear campaign life), *AOD* (a process for special steel production) and others, are currently in commercial operation in different parts of the world. In Brazil, Praxair is the owner of White Martins, the largest industrial gases company in South America, present in nine countries of the continent. Company's portfolio includes atmospheric gases, carbonic gas production, acetylene, hydrogen, special and health and care gases, mixtures for welding, gas seamless steel cylinders, applications equipment, and storage and gases transportation. Recently the Company has started the operation of a natural gas liquefaction unit. The present work has the objective to show the potential benefits of the *Hot Oxygen Injection*, a system for coal or coke fines injection in blast furnaces developed by Praxair that is able to inject fines in rates higher than the observed in conventional injection systems. The *Hot Oxygen Injection* is able to increase the firing rate of the injected fines, making this increase possible.

Key words: Fines injection; Blast furnace; Coal; Charcoal; Coke.

¹ *Contribuição técnica ao XXII Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 15 a 17 de agosto de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Engenheiro Metalúrgico – Desenvolvimento Industrial Metal/Siderurgia da White Martins*

1 INTRODUÇÃO

Os finos de carvão, inevitavelmente gerados no transporte e manuseio do produto, correspondem a perdas e problemas ambientais para as siderúrgicas. Tanto os finos de carvão vegetal, como os de carvão metalúrgico, precisam ser adequadamente armazenados para que não provoquem danos ambientais.

Outro aspecto que deve ser ressaltado é a produção de coque nas siderúrgicas que utilizam este produto em seus altos-fornos: normalmente representa altos custos e elevados níveis de emissões atmosféricas, demandando tratamento adequado. Diminuições na quantidade consumida de coque nos altos-fornos são sempre bem vistas.

Injetar finos em altos-fornos representa criar utilidade para um produto que antes era um rejeito e passivo ambiental, em substituição a outro de maior custo de aquisição.

A injeção de finos de coque ou carvão em altos-fornos já é conhecida e encontra-se em operação comercial em guseiros e siderúrgicas integradas. A tecnologia *Praxair Hot Oxygen Injection* representa uma evolução da injeção de finos, podendo realizá-la em taxas superiores, otimizando cada vez mais os custos da matéria-prima empregada nos altos fornos.

2 DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA

A injeção de finos de coque ou carvão já é conhecida na siderurgia. A Praxair, dispõe do sistema *PCI (Powder Coal Injection – Injeção de Carvão Pulverizado)* para altos-fornos que utilizam carvão vegetal.

Sistemas para injeção de finos comercialmente conhecidos possuem capacidade para injetar até 135 kg de finos por tonelada de gusa. Cada 1 kg de finos é capaz de substituir 1 kg de carvão vegetal, produto de maior valor agregado.

Disponibilizada pela Praxair, a tecnologia do *Hot Oxygen Injection* é capaz de injetar finos a taxas ainda maiores, criando cada vez mais valor para o usuário do sistema. Nos sistemas convencionais, altas taxas de injeção de finos podem representar problemas operacionais, como a presença de carbono nos gases do forno, além do aumento na queda de pressão no forno. Para que os finos sejam injetados em taxas superiores, é necessária uma combustão mais eficiente dos finos de carvão, que é proporcionada pelo sistema *Hot Oxygen Injection*. O Quadro 1 mostra uma comparação entre os diferentes modos de injeção de finos.

Quadro 1. Comparação entre os Modos de Injeção

Injeção a Temperatura Ambiente	Injeção do Oxigênio Aquecido
Velocidade Sônica	Velocidade Sônica
330 m/s	800 m/s
Oxigênio/Carvão a temperatura Ambiente	Oxigênio Aquecido/Carvão a temperatura Ambiente
Aquecimento Lento	Aquecimento Rápido
Baixa Liberação de Voláteis	Alta Liberação de Voláteis
Necessita mistura com gases do forno para ignição	Ignição sem Diluição
Baixa Concentração de Oxigênio na Ignição	Concetração de Oxigênio na Ignição de Aproximadamente 80%

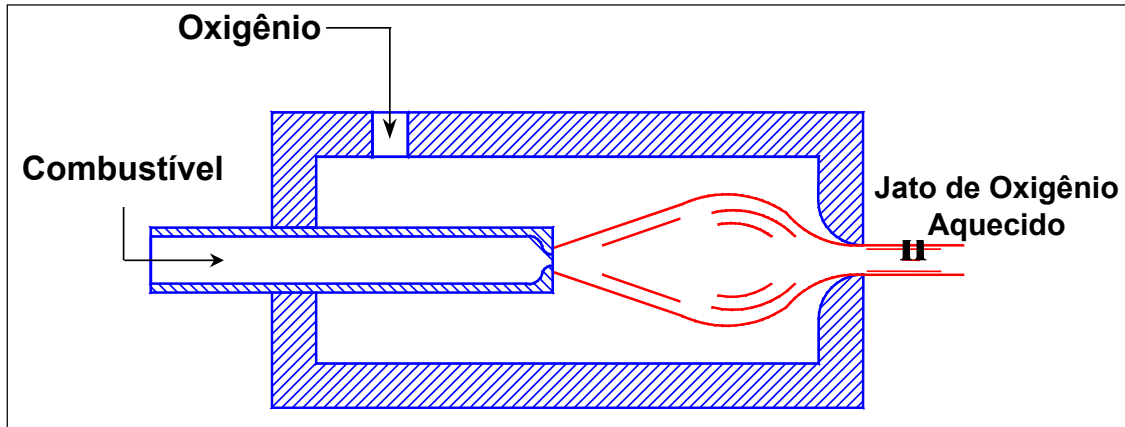
Fonte: Praxair Technology Center.

A lança do *Hot Oxygen Injection* realiza um sopro combinado de oxigênio e gás natural, sendo a quantidade de oxigênio soprada um excesso em relação a estequiometria da reação (a química do *Hot Oxygen Inection* está mostrada no Quadro 2). Nem todo o oxigênio soprado é consumido na combustão, permitindo que o excesso deixando a lança a temperatura elevada, seja usado para permitir uma melhor queima com os finos de carvão. A Figura 1 mostra esquematicamente a lança do *Hot Oxygen Injection*.

Quadro 2. Composição Química do *Hot Oxygen Injection*

Temperatura do Oxigênio (C)	Reagentes		Composição Gases de Combustão		Velocidade Sônica (m/s)
	Insumo	Volume (m3)	Produto	(%)	
1350	Oxigênio	100	Oxigênio	81,9	745
	Gás Natural	6,4	Gás Natural	6,0	
			Vapor de Água	12,1	
1650	Oxigênio	100	Oxigênio	77,1	800
	Gás Natural	8,2	Gás Natural	7,6	
			Vapor de Água	15,0	

Fonte: Praxair Technology Center

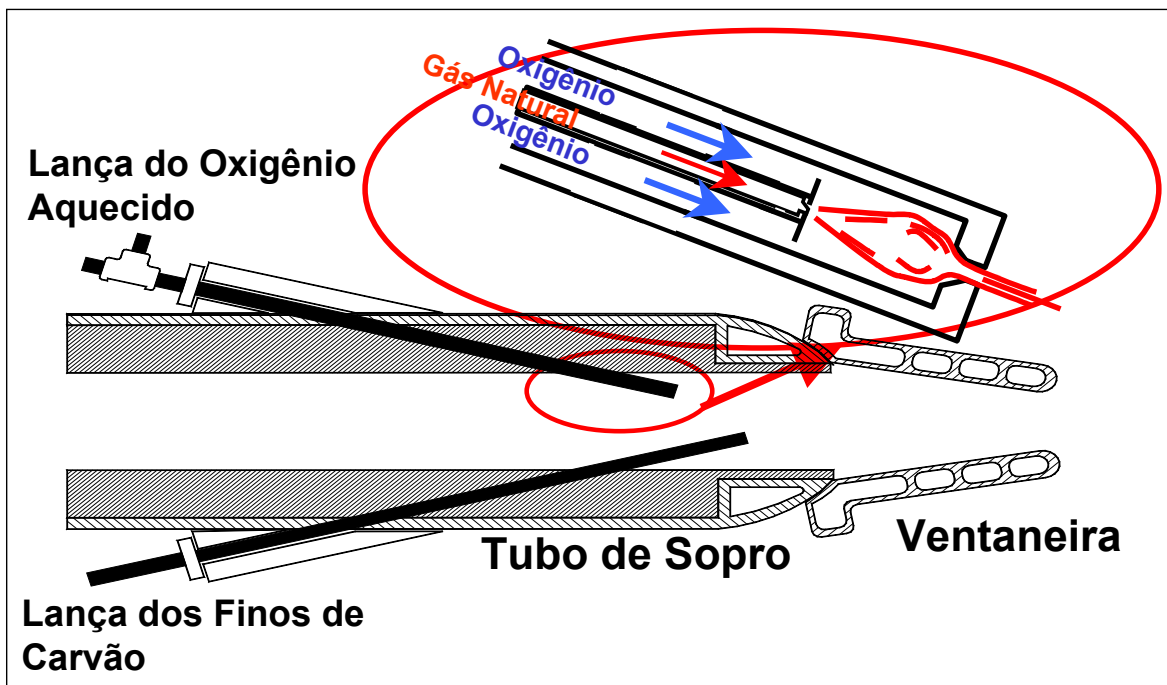


Fonte: Praxair Technology Center

Figura 1. Desenho Esquemático da Lança do Hot Oxygen Injection

3 SISTEMA DE INJEÇÃO E EFICIÊNCIA NA QUEIMA DOS FINOS

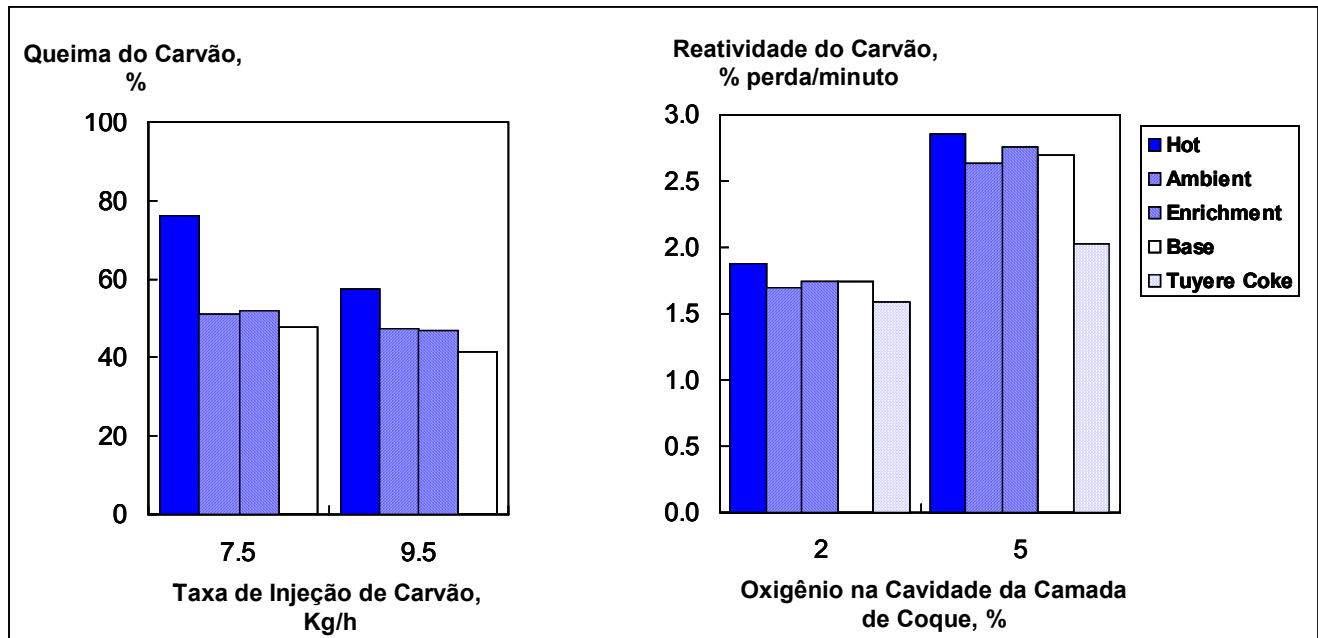
O sistema de injeção é composto por duas lanças (uma para o oxigênio quente e outra para os finos de carvão), além de um tubo onde os fluxos das lanças se encontram, conectado a ventaneira do alto-forno. A queima entre o oxigênio aquecido e os finos de carvão inicia-se no tubo antes de chegar a ventaneira do forno. O sistema de injeção está mostrado na Figura 2.



Fonte: Praxair Technology Center

Figura 2. Sistema de Injeção no Alto-Forno

O fato de utilizar oxigênio aquecido maximiza a combustão com os finos de carvão. A Figura 3 mostra os aumentos observados em testes na taxa de queima e reatividade do carvão, proporcionados pelo uso do *Hot Oxygen*.



Fonte: Praxair Technology Center

Figura 3. Eficiência Adicional na Combustão dos Finos Proporcionada pela Tecnologia Hot Oxygen. Resultados dos testes em escala piloto – comparação entre enriquecimento com oxigênio, injeção de oxigênio a temperatura ambiente, e injeção do oxigênio quente. A queima do carvão com o oxigênio quente é entre 20% e 50% superior em relação às outras rotas.

Para funcionamento adequado e obtenção dos resultados esperados, o sistema do *Hot Oxygen Injection* requer controles de vazão individuais do gás natural, oxigênio e nitrogênio de purga para cada lança. Dessa forma, o controle preciso da relação oxigênio/gás natural garante a temperatura correta do oxigênio quente a ser injetado. O sistema também dispõe de dispositivos de controle e diagnóstico, além de mecanismos de intertravamento, permitindo a segurança e eficiência da operação.

4 TESTES DA TECNOLOGIA HOT OXYGEN

Com o objetivo de demonstrar os potenciais benefícios econômicos, listados no Quadro 3, o planejamento de testes do Hot Oxygen foi dividido em duas etapas: Fase 1 e Fase 2.

Quadro 3. Benefícios Potenciais – Aumento da Quantidade de Finos Injetados em Ralação ao Coque ou Carvão Vegetal

Sistema de Injeção de Finos	Composição da Carga do Forno	
	Finos	Coque
	%	%
Hot Oxygen	38%	62%
Injeção Convencional de Finos	31%	69%
Caso Base - Somente uso de Coque	0%	100%

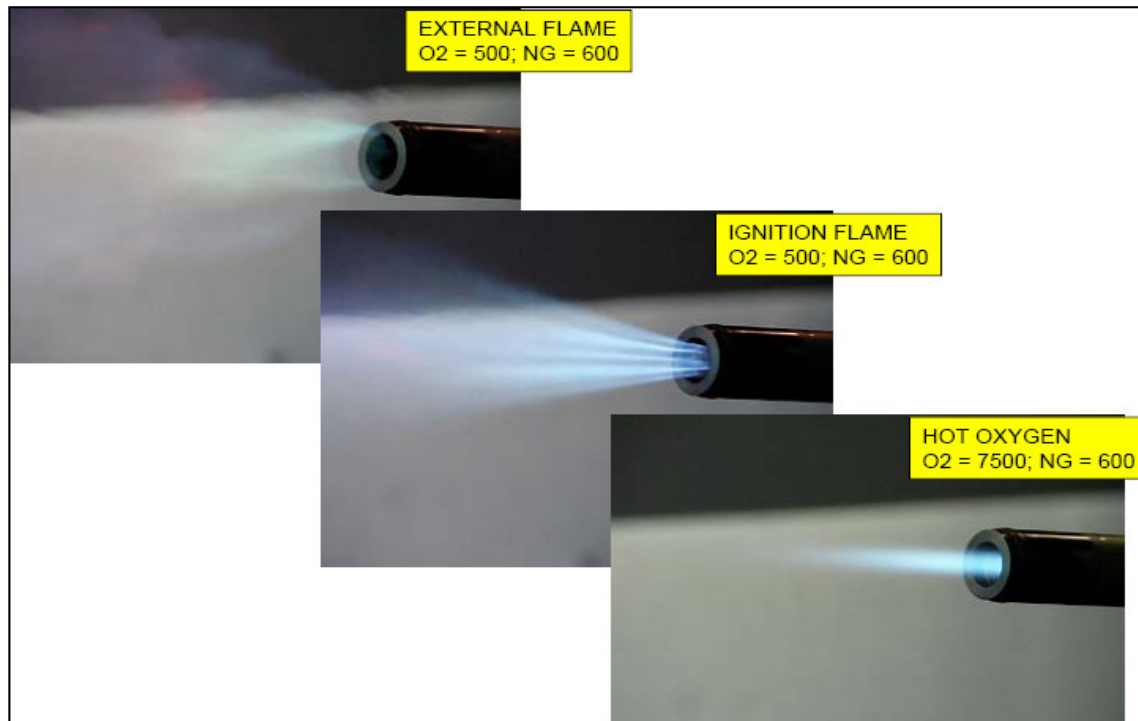
Fonte: Praxair Technology Center

- Objetivos da Fase 1:
 - Demonstrar a injeção de oxigênio quente em duas ventaneiras de um alto-forno comercial
 - Monitorar a vida útil da lança, custos de energia e efeitos sobre a combustão dos finos
- Objetivos da Fase 2
 - Demonstrar a injeção de oxigênio quente em todas as ventaneiras
 - Aumentar a injeção de finos em até 35 kg por tonelada de gusa
 - Demonstrar o benefício potencial, que pode ser entre US\$ 0,84 e US\$ 2,90 por tonelada de gusa dependendo dos preços praticados no mercado de matérias-primas siderúrgicas

A Fase 1 foi concluída e a Fase 2 encontra-se em processo final de negociação. A seguir, estão listados os resultados da Fase 1.

Resultados da Fase 1:

- Não foram observados efeitos adversos nos equipamentos e na operação
 - Não houve mudança na temperatura da superfície do tubo de sopro
 - Calor fornecido pelas ventaneiras aumentou em 10%
 - Controle dos depósitos de cinzas ajustando a posição da lança
- Aumento na queima do carvão
 - Medidas de pressão tomadas no tubo de sopro e ventaneiras sugerem que o *Hot Oxygen* promove um incremento de 30% na queima inicial
 - É importante garantir a ignição dentro da câmara de combustão da lança, como mostrado na Figura 4.
- Performance da Lança
 - A durabilidade da lança foi superior a 85% com a modificação dos materiais empregados na construção, além do aprendizado e prática da ignição
 - Nenhum dano significativo na lança em 30 dias de operação



Fonte: Praxair Technology Center

Figura 4. Seqüência de Operação. É importante garantir que a ignição do queimador antes do início da injeção no forno e por isso, utiliza-se o calor dos gases do forno. Após a ignição, a lança do Hot Oxygen é posicionada mais afastada e o oxigênio quente e os finos podem começar a ser injetados.

Todos os objetivos da Fase 1 foram atingidos, provando que:

- a performance da lança é confiável;
- não houve danos aos componentes do forno;
- houve melhora na queima do carvão.

4 CONCLUSÕES

A Fase 2 está em processo de negociação com um produtor de aço no Brasil e terá início assim que as negociações forem concluídas.

Há um grande potencial para que o objetivo de aumentar a injeção de finos e reduzir o uso de coque ou carvão vegetal nos fornos seja atingido. Diante dos resultados da Fase 1, o aspecto mais importante foi alcançado: a taxa de queima dos finos injetados mostrou-se superior com a utilização do oxigênio quente.

Quanto aos aspectos operacionais, não houve danos aos componentes do forno e a lança mostrou-se confiável. A ignição da mistura, outro importante aspecto operacional, foi bem compreendida e o mecanismo para fazê-la já funcionada de maneira satisfatória. Um adequado controle das quantidades de combustível e oxigênio injetadas será capaz de garantir a eficiência e o bom funcionamento do processo.

O *Hot Oxygen Injection* mostra-se uma alternativa com grande potencial para aumentar a produtividade dos altos-fornos das siderúrgicas integradas.