

ELEVAÇÃO DA TAXA DE INJEÇÃO DE CARVÃO PULVERIZADO NOS ALTOS-FORNOS DA V&M DO BRASIL¹

Rafael Porto Oliveira²
Hélio Maneta³
Jadir das Graças Cruz⁴
Mário Emílio da Silveira Maia⁵
Denise Araújo Gomes⁶
Mário Rosa Monteiro⁷
Guilherme Borges da Costa⁸

Resumo

A motivação deste trabalho foi devido ao interesse em alcançar elevadas taxas de injeção de carvão pulverizado nas ventaneiras dos Altos-Fornos da V&M do Brasil, visando reduzir o consumo global de carvão vegetal por tonelada de gusa e conseqüente custo de produção. O projeto teve início em março de 2005 e consistiu na adoção e implementação de alguns parâmetros operacionais e alguns investimentos para a otimização do sistema de injeção de carvão pulverizado, tais como: quebra de paradigma, mudanças operacionais, implantação de uma nova instalação de Moagem, instalação de um novo sistema de injeção no alto-forno 1 e uma nova estação de peneiramento de carvão. Com o acompanhamento e medição do tempo médio de injeção e medição da quantidade de carvão pulverizado injetado por ventaneira após a instalação do novo sistema de injeção, verificou-se uma melhoria significativa da distribuição da energia fornecida ao alto-forno, colaborando para uma operação mais estável do reator e possibilitando elevar a taxa de injeção média nos altos-fornos da V&M do Brasil.

Palavras-chaves: Alto-forno; Carvão pulverizado; Taxa de injeção.

INCREASING OF PULVERIZED CHARCOAL INJECTION IN VALLOUREC & MANNESMANN'S BLAST FURNACES

Abstract

This work was motivated to increase PCI rates in the Blast furnaces of the V&M do Brasil in order to reduce the global consumption of charcoal. This project began in March of 2005 by the implementation of some investments and some operational controls such as new PCI system of blast furnace 1, operational changes of the Blast furnaces, implantation of Milling 3, among others. After these implementation the PCI rates were increased with charcoal reduction.

Key words: Blast furnace; Pulverized charcoal; PCI.

¹ *Contribuição técnica ao XXVIII Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades, 15 a 17 de agosto de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Engenheiro Metalurgista, Gerência de Produção de Ferro Gusa.*

³ *Engenheiro Metalurgista, Gerente Responsável pela Produção de Ferro Gusa da V&M do Brasil.*

⁴ *Técnico Metalúrgico, Coordenador Técnico*

⁵ *Engenheiro Metalurgista, Gerência de Produção de Ferro Gusa.*

⁶ *Engenheira Química, Engenharia de Processos e de Desenvolvimento*

⁷ *Técnico Industrial, Engenharia de Processos e de Desenvolvimento*

⁸ *Estagiário de Engenharia Metalúrgica da UFMG*

1 INTRODUÇÃO

A grande maioria das empresas produtoras de ferro gusa em altos-fornos vem praticando a injeção de carvão pulverizado nas ventaneiras, prática que permite redução de coque ou carvão vegetal carregado pelo topo do alto-forno em substituição por um insumo de menor valor permitindo um ganho econômico, uma vez que os redutores representam de 50% a 60% do custo final do ferro gusa.

Para uma usina integrada a carvão vegetal, sem sinterização como a V&M do Brasil, tem-se a geração de grande quantidade de finos. O carvão desde sua fabricação nas carvoeiras até o alto-forno gera uma quantidade de finos que podem chegar a 31%. Estes finos gerados podem ser vendidos para outras usinas ou processados para serem injetados. A maioria das empresas vem buscando praticar a segunda opção, pois os valores de venda são baixos e com a injeção de finos obtêm-se outras vantagens, tal como aumento do tempo de residência da carga metálica que proporciona uma melhor redução da carga metálica na zona de preparação contribuindo para redução do consumo de carvão. Todas estas vantagens além da redução do consumo de carvão bruto devido ao maior aproveitamento dos finos.

Para uma melhor avaliação dos benefícios a taxa de substituição é calculado pela quantidade de carvão que se deixa de carregar pelo todo quando se inicia a prática de injeção de carvão pulverizado. Essa economia não é a simples substituição de um combustível pelo outro, pois a injeção de combustível auxiliar provoca uma série de mudanças no alto-forno que pode levar a uma redução do consumo global de carvão. As alterações dentro do reator estão ligadas a mudanças que ocorrem na:

- Distribuição de gases no alto-forno.
- Nível térmico no interior do alto-forno.
- Tempo de residência da carga metálica.
- Proporção de Hidrogênio nos gases.

Com a maior redução da carga metálica na zona de preparação devido ao aumento do seu tempo de residência, tem-se um menor consumo de carvão total contribuindo para elevar a taxa de substituição. É importante ressaltar que a taxa de substituição tende a decrescer com o aumento da taxa de injeção, tornando fundamental a determinação da taxa de injeção ótima para cada alto-forno de forma a aumentar os ganhos proporcionados pela redução global do consumo específico de carvão. A produtividade dos altos-fornos pode também ter um aumento. Isso ocorre porque a injeção de combustível auxiliar provoca um aumento no produto do tempo de residência da carga metálica levando a uma melhor utilização do volume útil do alto-forno.

Ao longo deste trabalho, serão apresentadas as medidas adotadas e implementadas para elevar a taxa de injeção nos altos-fornos da V&M do Brasil.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi dividida nas seguintes etapas:

2.1 Quebra de Paradigmas

Esta primeira etapa consistiu em uma conversa com os operadores dos altos-fornos na qual cada um opinava sobre a taxa de injeção ideal que possibilitasse uma boa operação dos altos-fornos. Foram ouvidos operadores e supervisores dos três turnos e chegou-se à conclusão, segundo a opinião dos mesmos, de que a taxa de injeção

ideal seria de 130 kg/tgusa para o alto-forno 1 e de 85 kg/tgusa para o alto-forno 2, dando uma média de 115 kg/t para os altos-fornos 1 e 2.

Os argumentos por parte dos operadores e supervisores para a prática de injeções superiores a 115 kg/t foram de que para taxas superiores a este valor o carvão injetado não queimava na zona de combustão e que o sistema de injeção do alto-forno 1 não possibilitava esta prática. Na dúvida sobre a queima do carvão injetado na zona de combustão foi feita uma pesquisa bibliográfica na qual foi identificado que na zona de combustão existe oxigênio suficiente para garantir a queima do carvão pulverizado injetado, sendo a cinética de combustão o fator limitante. Tendo oxigênio suficiente iniciou-se a prática de taxas de injeção mais elevadas em paralelo com algumas mudanças operacionais.

2.2 Mudanças Operacionais dos Altos-Fornos

2.2.1 Alto-Forno 1

Buscando reduzir o número de cortes (Reduções de Vazão para corte de gaiola) no alto-forno 1, foram realizados experimentos nos quais a vazão objetivada foi reduzida passando a praticar vazões que estariam limitadas às condições de permeabilidade do alto-forno permitindo reduzir os desvios entre a vazão objetivada e a praticada. Adotada esta prática, foi possível operar o alto-forno com mais estabilidade sem perda de produção.

Foi realizado também um teste com a distribuição de carga, movimentando as placas móveis. Nos testes foram avaliadas as temperaturas das sondas radiais instaladas no topo do alto-forno sendo definido que a melhor relação entre a temperatura do centro sobre a temperatura das paredes estaria entre o valor de 2 a 2,5. Foi implementado, ainda, nos dois altos-fornos, o monitoramento do tempo de injeção durante a hora em cada lança, objetivando a injeção da taxa calculada durante os 60 minutos.

2.2.2 Alto-Forno 2

Devido à limitação de temperatura de sopro do alto-forno 2 que utiliza os Glendons como regeneradores de calor, foi necessário fazer algumas modificações operacionais neste equipamento de forma a elevar a temperatura de sopro. Com isso, foi possível manter temperatura de chama constante uma vez que a elevação da taxa de injeção provoca a sua redução.

2.3 Implantação da Nova Injeção de Finos

Este projeto teve como objetivo uma melhoria no sistema de injeção de finos do alto-forno 1 buscando:

- Melhor distribuição do tempo de injeção em cada ventaneira.
- Melhor distribuição da quantidade de carvão injetado por ventaneira.
- Melhor distribuição da temperatura de chama e do fluxo de gases no interior do alto-forno.
- Fim de obstruções das linhas de injeção.

No sistema novo de injeção implantado em outubro de 2005, as 6 tubulações instaladas no fundo dos vasos de injeção foram substituídas por uma única tubulação de 3 polegadas que se subdividia através de um distribuidor em 12 tubulações de 1 polegadas que transportam o carvão pulverizado até o alto-forno 1, conforme pode ser visto na Figura 1.

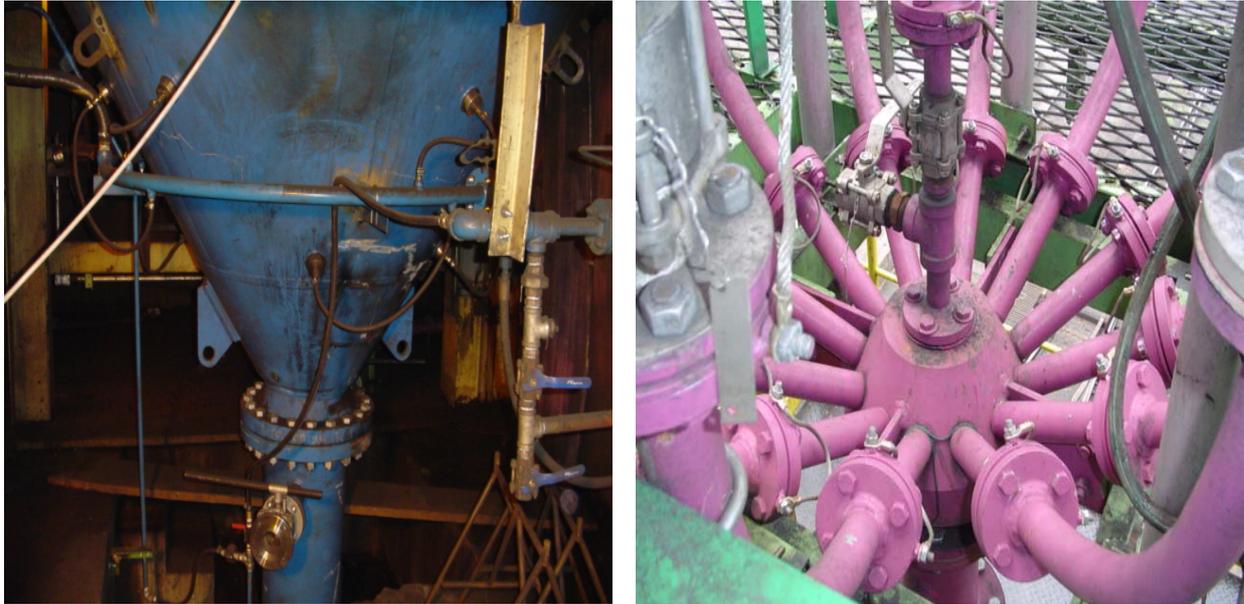


Figura 1 - Vaso de injeção e distribuição das linhas de injeção do sistema novo de injeção do alto-forno 1.

No sistema de injeção do Alto-Forno 2, os vasos de distribuição são ligados em um distribuidor por uma única linha de transporte distribuindo-as em 5 linhas que são subdivididas em duas, dando origem a 10 tubulações que transportam o carvão pulverizado até o alto-forno 2.

2.4 Implantação da Moagem 3

Buscando ser auto-suficiente na produção de carvão pulverizado para a prática de altas taxas de injeção, foi implantada em junho de 2006 uma nova instalação de moagem.

Ao contrário do moinho de bolas 1 e 2 em operação na V&M do Brasil, a moagem 3 tem como princípio operacional a utilização de pêndulos, sendo equipada também com separador de cinzas.

2.5 Projeto de Peneiramento de Carvão (Projeto Paraopeba)

Este projeto foi coordenado pela gerencia de matérias primas da V&M do Brasil e teve como objetivo fazer um pré-peneiramento do carvão vegetal antes de ser transportado para a V&M do Brasil de forma a reduzir o percentual de finos carregado no topo do alto-forno além de uma separação da fração abaixo de 2 mm na qual esta concentrado o maior teor de cinzas.

A planta de beneficiamento foi instalada em Paraopeba-MG e esta em operação desde novembro de 2006.

2.6 Projeto Dupla Lança de Injeção

Este projeto ainda não foi concluído e atualmente está sendo testada em 4 algaravizes do alto-forno 1 a modificação que consiste na injeção através de duas lanças. Este projeto tem como objetivo um melhor espalhamento do carvão pulverizado no interior do alto-forno melhorando as condições de contato entre o

combustível e o comburente de forma a garantir a combustão do carvão pulverizado na Zona de combustão para pratica de altas taxas de injeção. Está programado para até o final do ano de 2007 a implantação de dupla lança de injeção em todos os algaravizes e os resultados serão apresentados em um outro momento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A evolução do aumento da taxa de injeção foi gradativa e aos poucos o paradigma de taxa de injeção ideal de 115 kg/t foi superado.

Em maio de 2005 a taxa de injeção média foi de 131 kg/t, superando ainda o recorde anterior de produção de ferro gusa. A taxa de injeção continuou a subir e em julho de 2005 foi batido um novo recorde com uma taxa de injeção com valor médio de 146 kg/t.

As taxas de injeção continuaram subindo com a redução do consumo de carvão de topo e novos recordes foram se tornando realidade. Hoje, esta sendo consumida toda a moinha gerada e está sendo estudada a possibilidade de compra de moinha no mercado. No gráfico da Figura 2 está descrito a evolução da taxa de injeção de carvão pulverizado e o consumo de carvão de topo nos altos-fornos da V&M do Brasil.

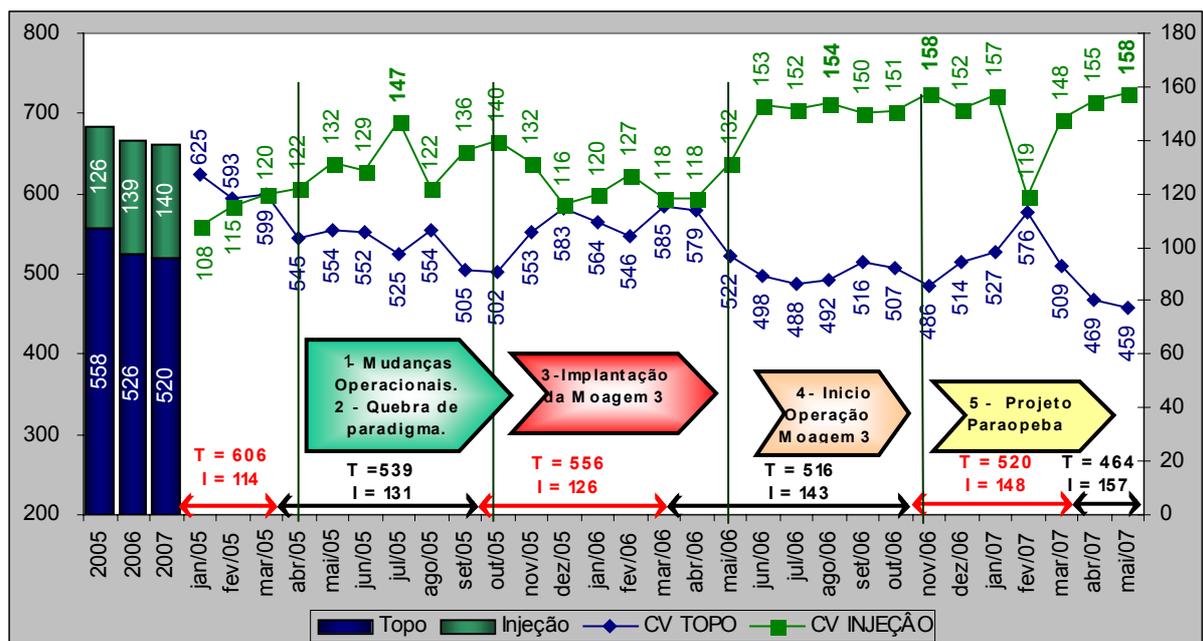


Figura 2 – Evolução da taxa de injeção de carvão pulverizado e consumo de carvão de topo média alto-forno 1 e 2.

Com o aumento da taxa de injeção foi possível a redução do consumo de carvão de topo dos altos-fornos. No gráfico acima estão destacadas as taxas de injeção praticadas bem como o consumo de carvão de topo desde janeiro de 2005 a abril de 2007. Encontra se ilustrado também a divisão das taxas de injeção e dos consumos de carvão de topo para os períodos de seca (abril a outubro) e chuvoso (novembro a março) onde as taxas de injeção são mais baixas devido à redução da permeabilidade do alto-forno pelo aumento da umidade do carvão de topo.

A evolução da taxa de injeção no período de chuva foi notável passando de 114 kg/t no ano de 2005 para 147 kg/t no ano de 2007, bem como a redução do consumo de

carvão de topo que passou de 606 kg/t para 519 kg/t. O mesmo aconteceu para o período de seca proporcionando o aumento anual da injeção de finos e redução do consumo total de carvão nos altos-fornos da V&M.

Com a implantação do novo sistema de injeção no alto-forno 1, foi possível uma melhor distribuição do carvão pulverizado injetado em cada ventaneira e uma conseqüente melhora na distribuição da temperatura de chama e dos gases redutores no alto-forno contribuindo para uma melhor estabilidade do processo. Com esta melhoria combinada com o monitoramento do tempo de injeção, foi possível controlar a taxa de injeção horária de carvão pulverizado em cada ventaneira durante os 60 minutos.

Resultados comparativos entre o tempo de injeção bem como a distribuição da temperatura de chama antes e após a implantação encontram-se ilustrados na Figuras 3 e 4 respectivamente.

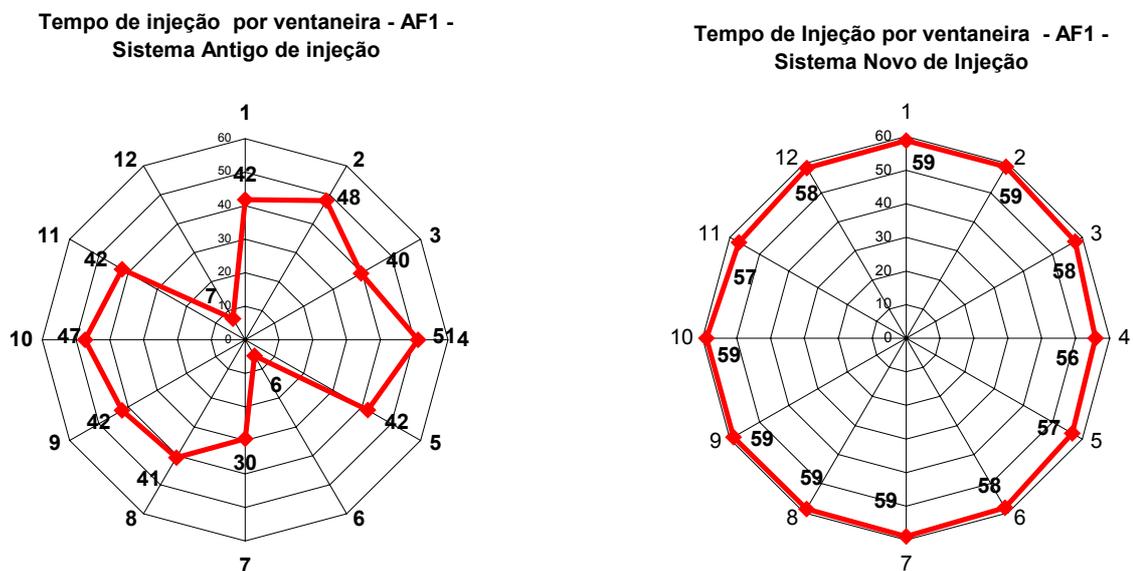


Figura 3 – Variação do tempo de injeção no alto-forno 1 antes a após a implantação do novo sistema de injeção.

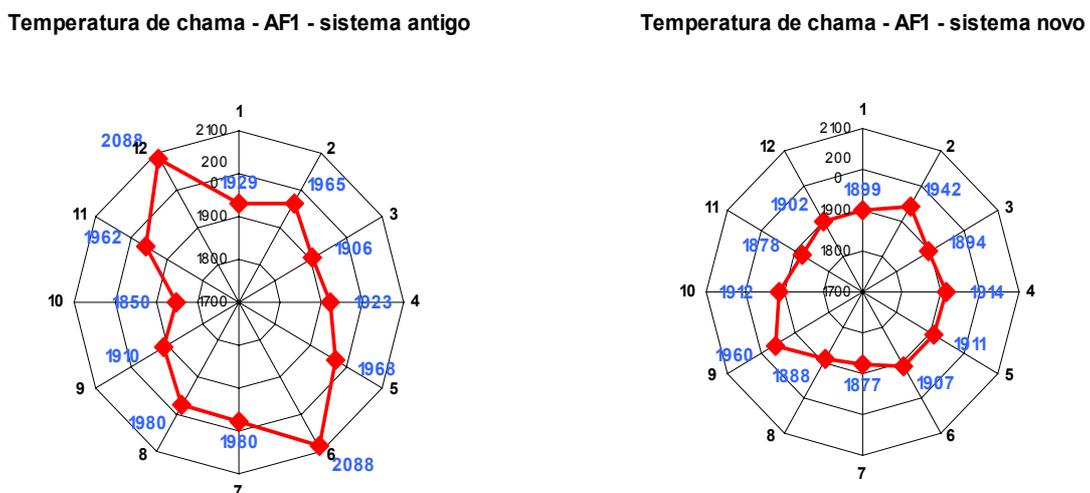


Figura 4 – Variação da temperatura média de chama por ventaneira para o sistema antigo e novo de injeção do alto-forno 1.

Fazendo um comparativo entre o tempo de injeção do sistema antigo e do sistema novo de injeção do alto-forno 1, observa-se uma melhoria significativa com a implantação do novo sistema de injeção. O tempo médio de injeção passou de 35 minutos para 58 minutos de injeção em uma hora após a implantação do novo sistema de injeção. Com o maior tempo de injeção durante a hora tem-se uma melhor distribuição de energia em toda circunferência do reator que pode ser visto no gráfico de temperatura de chama cujo desvio padrão passou de 69°C para 24°C com o novo sistema de injeção, contribuindo para uma melhor operação e menor consumo de carvão.

O alto-forno 2 apresentou um tempo médio de injeção de 54 minutos e desvio padrão da temperatura de chama de 41°C.

Foram realizados também testes de distribuição do peso de carvão pulverizado injetado por ventaneira que mostrou resultados semelhantes aos do tempo de injeção e da temperatura de chama para o sistema antigo e novo de injeção. Para o sistema antigo de injeção do alto-forno 1 o desvio padrão do peso de carvão injetado por ventaneira foi de 4,50% passando a ser de 1,12% com o novo sistema de injeção. No alto-forno 2 os teste apresentaram resultado de desvio padrão intermediário de 2,45%.

Sabe-se que é necessário que o carvão pulverizado seja igualmente distribuído nas ventaneiras do alto-forno para manter boa estabilidade operacional e menor consumo de carvão.

A melhoria alcançada na distribuição de carvão pulverizado juntamente com a melhoria no tempo de injeção proporcionou uma série de benefícios para a operação do alto-forno 1 contribuindo também para o decréscimo no consumo de carvão.

De modo geral as melhorias alcançadas foram:

- Melhor distribuição do tempo de injeção por ventaneira
- Melhor distribuição do peso de carvão pulverizado injetado por ventaneira
- Melhor distribuição da temperatura de chama
- Fim das obstruções das linhas de injeção

Com a implantação da moagem 3 a V&M se tornou auto suficiente na produção de carvão pulverizado. Foi possível a produção de maior quantidade de carvão pulverizado com uma melhor qualidade química uma vez que a nova instalação esta equipada com separador de cinzas (contaminantes).

O percentual de cinzas teve uma redução de 3,25% com o inicio de operação da moagem 3 e redução consecutiva de 2,1% com a entrada em operação do projeto Paraopeba passando a ter um valor médio de cinzas de 8%.

A redução do teor de cinzas do carvão pulverizado injetado implica na redução do consumo de carvão uma vez que o acréscimo de 1% de cinzas do carvão pulverizado é necessário 1,55 kg de carvão para fundir a mesma.

A Figura 5 mostra a evolução (decrécimo) do teor de cinzas do carvão pulverizado com a implantação dos projetos, bem como o aumento do teor de carbono fixo do carvão pulverizado uma vez que os materiais voláteis têm valores próximos de 24%.

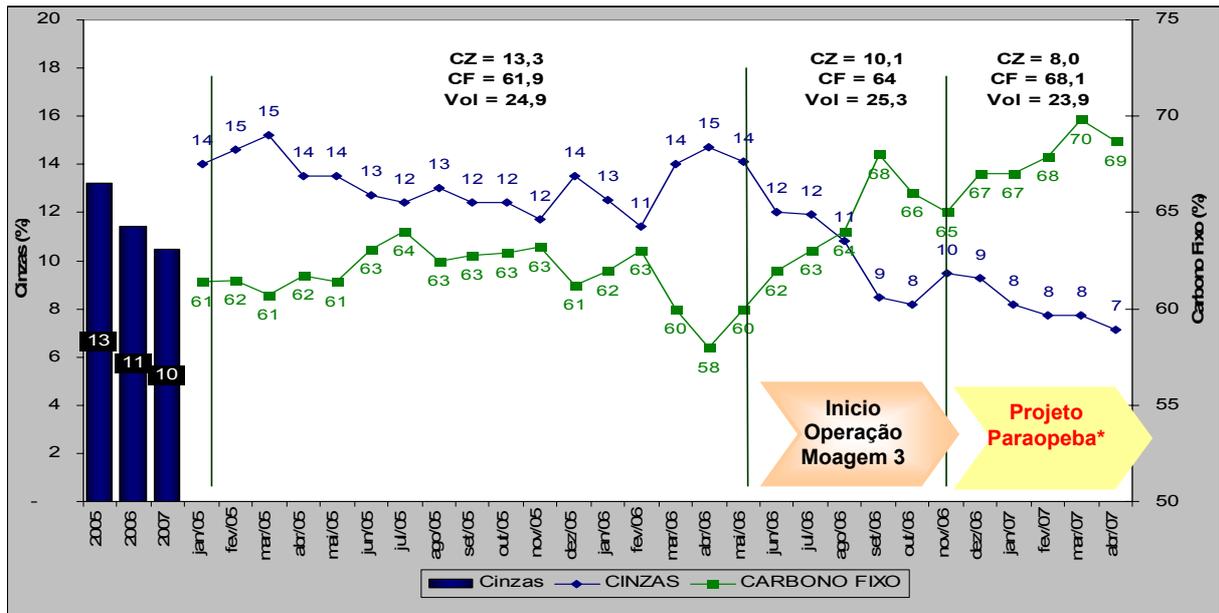


Figura 5 - Evolução da qualidade do carvão pulverizado injetado nos altos-fornos da V&M do Brasil.

Em paralelo aos investimentos e os ajustes no processo que possibilitaram a prática de altas taxas de injeção foi feito também uma análise do comportamento operacional dos altos-fornos bem como dos resultados de consumo específicos de carvão por alto-forno.

Foram criados gráficos correlacionando diferentes variáveis como ferramenta para ilustrar as tendências de consumo com a elevação da taxa de injeção e ajudar na tomada de decisões futuras.

A Figura 6 ilustra o consumo de carvão de topo com a elevação da taxa de injeção para os altos-fornos 1 e 2 respectivamente.

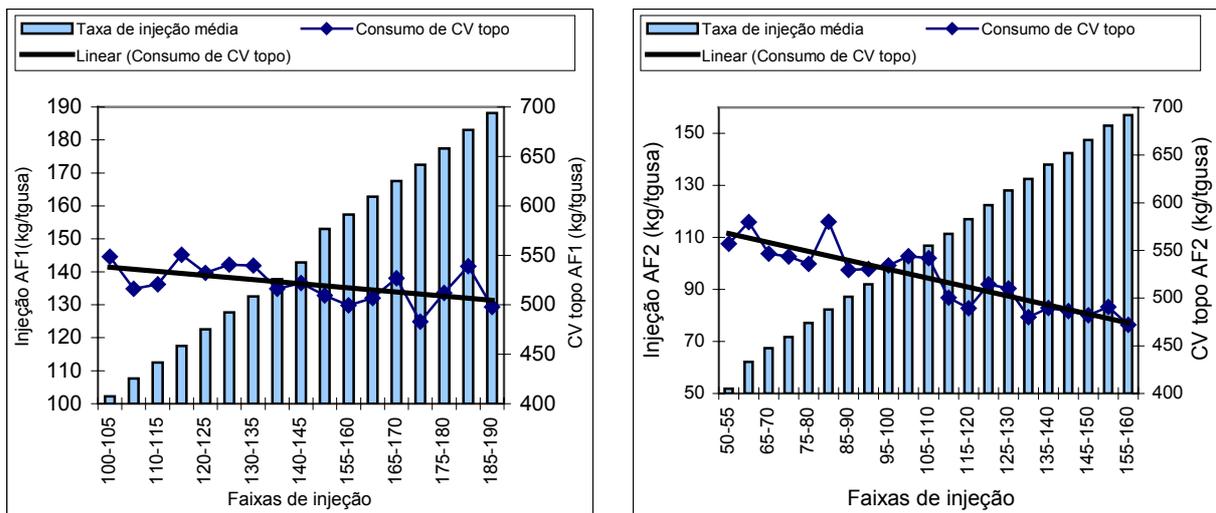


Figura 6 – Correlação entre a taxa de injeção de carvão pulverizado e o consumo de carvão de topo nos alto-forno1 (a) e alto-forno 2. (b)

Foi feita uma regressão linear de forma a ilustrar a tendência do consumo de carvão de topo com a elevação da taxa de injeção nos altos-fornos.

No alto-forno 1 que tem volume útil de 498 m³ foi constatado através da análise do gráfico (a) que para taxas superiores à 175 kg/t tem-se uma tendência no aumento do consumo de carvão de topo. A correlação entre a taxa de injeção e o consumo de carvão de topo mostrou um coeficiente de correlação linear de -24% que representa a tendência de decréscimo do consumo de carvão de topo com a elevação da taxa de injeção. Este é um valor de correlação relativamente baixo e pode ser explicado pelos consumos de carvão de topo mais elevados para taxas de injeção superiores à 175 kg/t. Fazendo a mesma regressão desconsiderando taxas de injeção superiores à 175 kg/t o coeficiente de correlação passou a ser - 67%.

O mesmo não foi observado no alto-forno 2 que tem volume útil de 248 m³. Para taxas de injeção de até 160 kg/t a tendência de decréscimo do consumo de carvão de topo permaneceu com coeficiente de correlação de -90%. De posse dos resultados do alto-forno 2 o valor da taxa de injeção na qual os benefícios de redução do consumo de carvão de topo passa a se minimizar não foi definido. Taxas de injeção superiores a 160 kg/t estão sendo praticadas e estão em processo de avaliação no alto-forno 2 da V&M do Brasil.

Um dos parâmetros avaliados para a prática de altas taxas de injeção é a geração específica de pó do coletor por tonelada de gusa produzida. Com o aumento da taxa de injeção, observou-se uma tendência no aumento da geração do pó do coletor nos altos-fornos como mostrado na Figura 7:

Esse aumento pode estar associado à não queima do carvão pulverizado na zona de combustão em que as partículas não queimadas podem estar sendo arrastadas para o topo do alto-forno e retiradas no coletor de pó. A regressão entre a taxa de injeção e a geração de pó de coletor apresentaram correlações fortes com coeficientes de correlação de 68% para o alto-forno 1 e 80% para o alto-forno 2. Esta é uma suspeita e está sendo estudada mais a fundo em um trabalho de Pesquisa e Desenvolvimento financiado pela V&M do Brasil na qual está sendo estudado a combustão de carvão vegetal pulverizado.

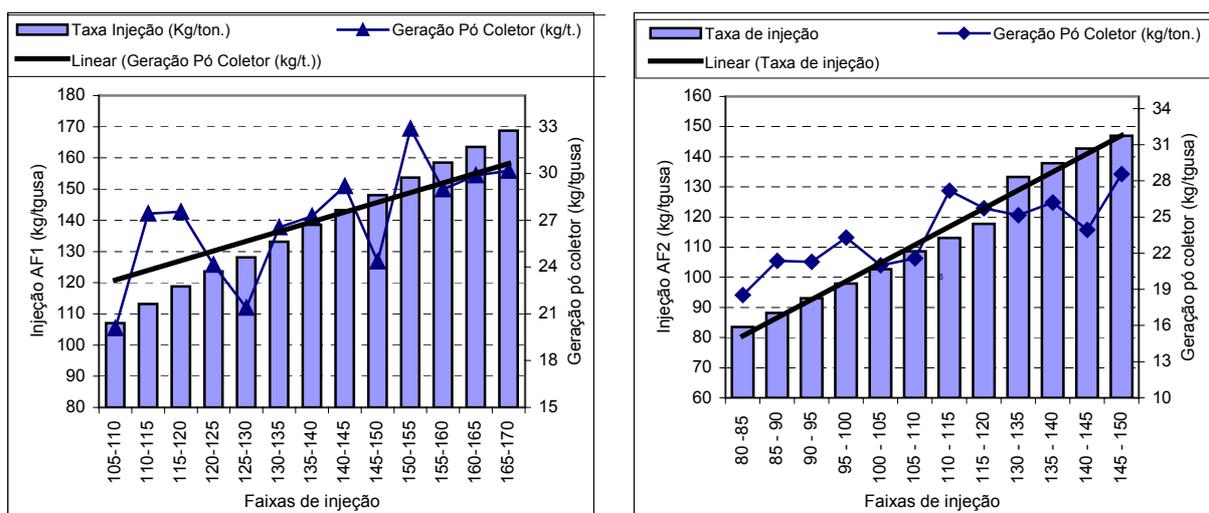


Figura 7 – Correlação entre a taxa de injeção de carvão pulverizado e a geração de pó do coletor nos altos-fornos 1 e 2.

A liberação do gás hidrogênio nas regiões inferiores do alto-forno e o aumento do tempo de residência devido à elevação da taxa de injeção refletem diretamente no rendimento gasoso que é o índice que mede a eficiência da redução do minério pelos gases redutores. O rendimento gasoso é dado pela divisão do gás CO dividido pela soma dos gases CO + CO₂ coletadas no topo do alto-forno. A análise é feita continuamente e o resultado é on-line.

Analisando os dados da Figura 8 observa-se uma relação entre a taxa de injeção e o rendimento gasoso. Fazendo a regressão linear para os dados dos altos-fornos 1 e 2 chega-se ao coeficiente de correlação 87% para o alto-forno 1 e 68% para o alto-forno 2, evidenciando através de dados práticos um melhor aproveitamento dos gases redutores no processo de produção de ferro gusa com o aumento da taxa de injeção, contribuindo para redução do consumo de carvão de topo.

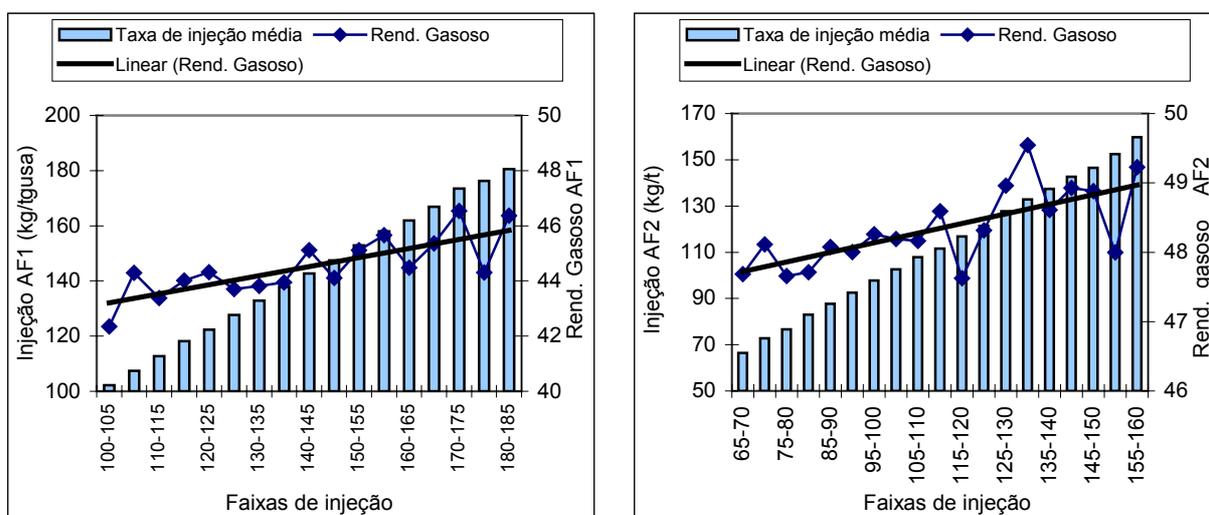


Figura 8 – Correlação entre a taxa de injeção de carvão pulverizado e o rendimento gasoso nos altos-fornos 1 e 2.

4 CONCLUSÕES

1. Foi possível elevar a taxa de injeção nos altos-fornos da V&M obtendo os benefícios da redução do consumo de carvão de topo.
2. O novo sistema de injeção do alto-forno 1 permitiu uma melhor distribuição do carvão pulverizado injetado por lança, garantindo um melhor fluxo de gases e calor no interior do alto-forno.
3. A Moagem 3 permitiu à V&M ser auto-suficiente na produção de carvão pulverizado contribuindo também com a produção de um carvão pulverizado de melhor qualidade com menor teor de cinzas.
4. As correlações entre a taxa de injeção e o consumo de carvão de topo mostraram que para taxas de injeção superiores a 175 kg/t no alto-forno 1, o consumo de carvão de topo tende a aumentar. Acredita-se que com o projeto dupla lança de injeção será possível a prática de taxas de injeção superiores à 175 kg/t com os benefícios de redução do consumo de carvão de topo.
5. Para o alto-forno 2, as correlações entre a taxa de injeção e o carvão de topo mostraram ser possível a prática de taxas de injeção de 160 kg/t, tendo-se os benefícios da redução de carvão de topo. No Alto-Forno 2, taxas de injeção superiores à 160 kg/t estão sendo praticadas para melhor avaliação.

Agradecimentos

- Aos funcionários do departamento de produção de ferro gusa. “Este trabalho não seria possível e não teria seus resultados alcançados sem o comprometimento de todos os funcionários do departamento de produção de ferro gusa da V&M do Brasil que fizeram ser possível”
- Ao Vamberto Ferreira pelo apoio no início do trabalho
- À gerencia de matérias primas da V&M do Brasil
- À gerencia de manutenção da superintendência de siderurgia da V&M do Brasil

BIBLIOGRAFIA

- 1 Nolasco Sobrinho P. J. Comportamento de diferentes materiais injetados através das ventaneiras dos altos-fornos. Dissertação de Mestrado 1998, Escola de Minas; Ouro Preto.
- 2 Assis, P. S. Injeção de Materiais Pulverizados em Altos-Fornos. Curso ABM 2003
- 3 C. J. ATKINSON, R. R. WILLMERS. *Blast Furnace Coal Injection Studies Using a Single Tuyere Raceway Investigation RIG*. Fuel Processing Technology Congress, p. 107-115, Amsterdam, 1990.
- 4 Carvalho, J. L.R; Asiis, P. S; Camilo, R.D.; Figueira, M. R.; Campos, V. F.; Dados Termodinâmicos para Metalurgistas. Departamento de Engenharia Metalúrgica da UFMG 1977.