

# AUMENTO DA TAXA DE INJEÇÃO DE FINOS DE CARVÃO VEGETAL NOS ALTOS-FORNOS DA V&M DO BRASIL<sup>1</sup>

Rafael Motta Neiva<sup>2</sup>  
Mario Rosa Monteiro<sup>3</sup>  
Claudio Musso Velloso<sup>4</sup>  
Jadir das Graças Cruz<sup>5</sup>  
Sanderson Fiuza Borba<sup>6</sup>  
Aline Miranda Pessoa<sup>7</sup>

## Resumo

O objetivo desse trabalho foi aumentar a taxa de injeção de finos de carvão vegetal (ICP) praticada nos altos-fornos da V&M do Brasil e avaliar a condição de marcha desses reatores. Alguns parâmetros foram otimizados, como a granulometria do pó de injeção que teve a sua fração menor que 100 mesh aumentada em 33%, a perda de carga nas linhas da ICP foi minimizada para garantir a distribuição uniforme do pó e não ocorrer um desequilíbrio na performance dos altos-fornos, e a distribuição de carga foi alterada forçando uma marcha mais central dos gases dentro dos reatores. Com isso, foi possível um aumento na ICP e, conseqüentemente uma redução no consumo de carvão vegetal de topo.

**Palavras-chave:** Injeção de finos; Carvão vegetal.

## INCREASING THE RATE OF PULVERIZED CHARCOAL INJECTION IN BLAST FURNACES OF V & M DO BRASIL

## Abstract

The aim of this study was to increase the rate of pulverized charcoal injection (PCI) practiced in the blast furnaces of V & M do Brasil and assess the condition of running these reactors. Some parameters were optimized, as the particle size of powder injection which had its under than 100 mesh fraction increased by 33%, the pressure drop along the lines of PCI was minimized to ensure even distribution of powder and not an unbalance in the performance blast furnace, and burden distribution has changed forcing a more central flow gases in the reactors. Thus, it was possible an increase in ICP and consequently a reduction in the consumption of charcoal from the top.

**Key words:** Injection of fines; Charcoal.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

<sup>2</sup> Engenheiro Químico – Gerência de Matérias-Primas e Produção de Ferro-Gusa – V&M do Brasil

<sup>3</sup> Coordenador Técnico – Gerência de Matérias-Primas e Produção de Ferro-Gusa – V&M do Brasil

<sup>4</sup> Engenheiro Metalurgista, Msc. – Gerente Responsável pela área de Matérias-Primas e Produção de Ferro-Gusa – V&M do Brasil

<sup>5</sup> Coordenador Técnico – Gerência de Matérias-Primas e Produção de Ferro-Gusa – V&M do Brasil

<sup>6</sup> Engenheiro Metalurgista – Gerência de Matérias-Primas e Produção de Ferro-Gusa – V&M do Brasil

<sup>7</sup> Técnica Industrial – Gerência de Matérias-Primas e Produção de Ferro-Gusa – V&M do Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a tecnologia de injeção de carvão pulverizado está sendo utilizada no mundo inteiro. Nos dias de hoje, a grande maioria dos altos-fornos utilizam desta técnica para injetar tipos diversificados de materiais sólidos. No Brasil, a injeção de carvão vegetal pulverizado teve início nos anos 1980 com a injeção pelas ventaneiras.<sup>(1)</sup>

A partir de então, houve um crescimento acentuado do número de instalações de injeção de carvão vegetal pulverizado devido a geração de finos que não eram aproveitados na sua utilização para carregamento no alto-forno, daí então houve a necessidade de se reduzir estas perdas e conseqüentemente a redução do custo da produção do gusa.

Atualmente, há um empenho no sentido de se obter maiores taxas de injeção para implicar em maiores reduções no custo da produção do ferro-gusa, mas é fundamental que, com uma maior taxa de injeção, o consumo de carvão granulado carregado pelo topo seja reduzido, o que proporciona ganhos significativos. No entanto, com taxas de injeção elevadas, pode-se não haver redução no consumo do redutor carregado pelo topo, pois o excesso de pó dificulta o escoamento gasoso e a combustão do pó injetado é prejudicada.

A V&M do Brasil é uma siderúrgica integrada, com dois altos-fornos que operam com carvão vegetal como redutor e carga metálica composta de minério de ferro e pelotas. Além disso, tem-se uma prática de altas taxas de injeção de finos de carvão vegetal nas ventaneiras através de duplas lanças.

Dessa forma, esse trabalho visa avaliar o efeito dessa prática de injeção e buscar a melhor faixa de trabalho para se obter a melhor taxa de substituição.

## 2 METODOLOGIA

Na busca de altas taxas de injeção de finos nos altos-fornos e, conseqüentemente, redução de carvão vegetal de topo, algumas práticas foram adotadas, a partir do ano de 2009, como reduzir a granulometria do pó de injeção e minimizar as perdas de carga no transporte desse material com a criação de um sistema dedicado de compressores de ar. Além disso, objetivou-se uma marcha mais central para facilitar o escoamento gasoso dentro do reator.

### 2.1 Granulometria do Pó

A granulometria do pó de injeção teve a sua fração menor que 100 mesh aumentada em 33% com o objetivo de tornar o grão mais fino, permitindo uma melhor reatividade do pó na região das ventaneiras. Dessa forma, garante-se uma melhor queima do combustível injetado.

Para se obter esta redução, alguns dos principais parâmetros da moagem foram alterados tais como a redução da velocidade de arraste do material até os filtros de mangas, o aumento da rotação do classificador dinâmico e, principalmente, a redução da fração menor que 2 mm na moagem. Com estas medidas tomadas, conseguiu-se reduzir significativamente a granulometria do pó de injeção sem interferir na produtividade das plantas de moagens.

## 2.2 Perda de Carga no Transporte de Pó

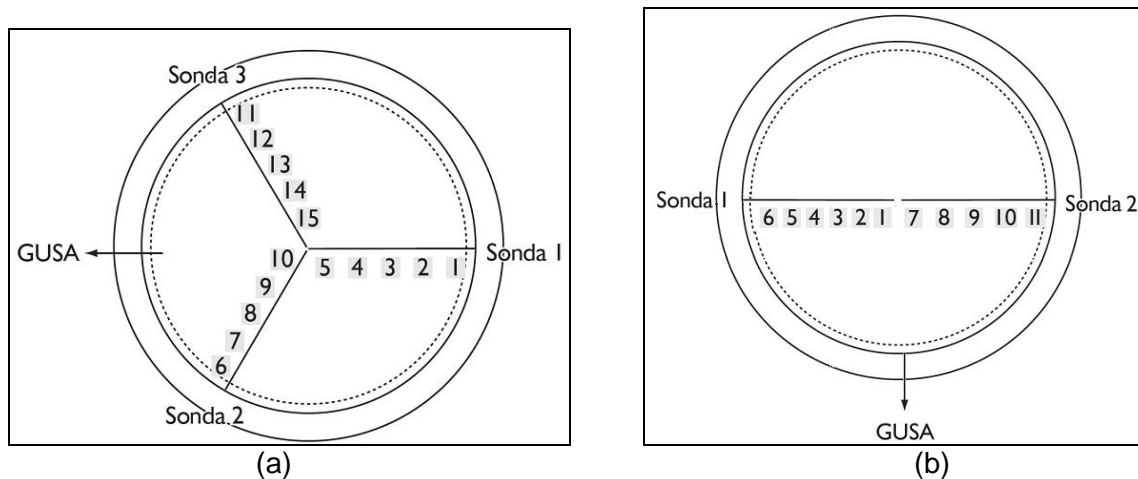
Detectou-se a necessidade de implantação um sistema de ar comprimido dedicado a injeção de finos nos altos-fornos, pois o sistema utilizado atende diversos setores da usina, como por exemplo, o desempoeiramento da área de matérias-primas. Sendo assim, quatro novos compressores foram adquiridos e instalados na área dos altos-fornos, a fim de minimizar as perdas de cargas nas linhas da ICP e garantir a distribuição uniforme do pó em todas as ventaneiras, não provocando desequilíbrio no desempenho dos reatores com taxas de injeção instáveis.

Com esse novo sistema, eliminaram-se as variações de volume e pressão de ar das linhas de transporte de pó, permitindo o aumento da taxa de injeção nos altos-fornos. Além disso, a eficiência do sistema de injeção foi aumentada, com redução das obstruções das tubulações.

De fato, quando se concentra a injeção em determinadas ventaneiras, pode ocorrer variabilidade na distribuição térmica do alto-forno devido maior concentração de pó nesta região, implicando em falta de oxigênio para queima. O item 3.2 mostra claramente a melhoria apresentada após as medições com os novos compressores montados.

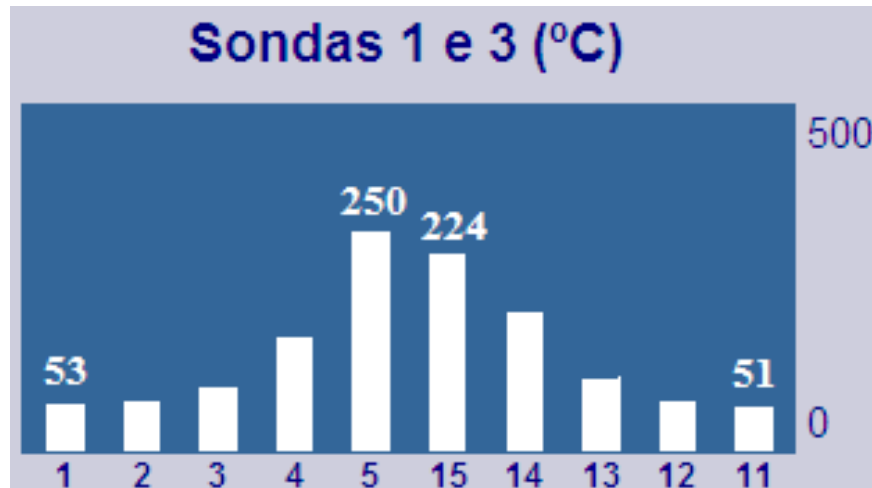
## 2.3 Distribuição de Carga

Os altos-fornos da V&M do Brasil são equipados com o topo de duplo cone, com sistema de distribuição de carga dotado de placas moveis e sondas radiais transversais instaladas no topo dos reatores (Figura 1). Através das placas móveis é possível a pratica de vários programas de distribuição de carga para definir a melhor pratica para um melhor desempenho operacional.

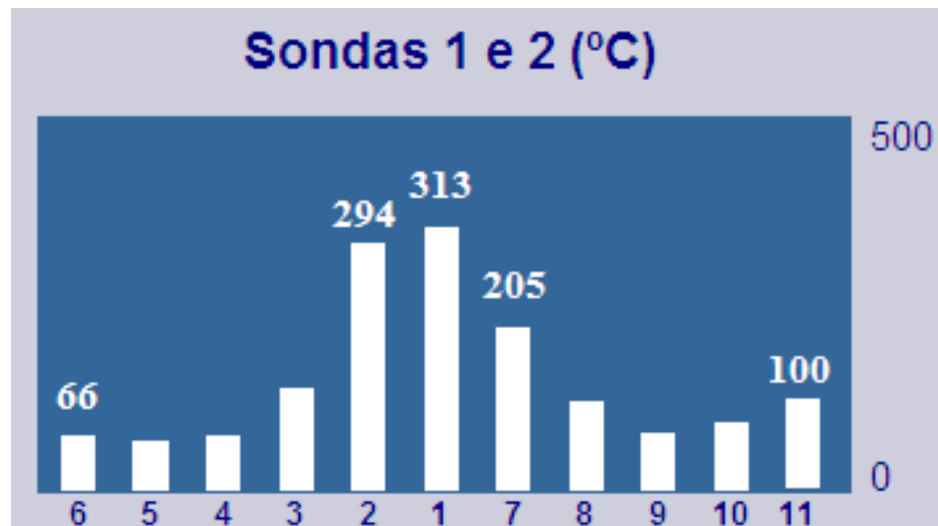


**Figura 1.** Posição dos termopares nas sondas radiais instaladas no topo do Alto-Forno I (a) e do Alto-Forno II.

A distribuição de carga foi alterada forçando uma marcha mais central dos gases dentro dos reatores e favorecendo a queima completa do pó devido ao aumento da zona de combustão. Nas Figuras 2 e 3 é mostrado o comportamento do gás de topo no alto-forno I e no alto-forno II respectivamente.



**Figura 2.** Temperatura indicada pelos termopares nas sondas radiais no topo do alto-forno I.



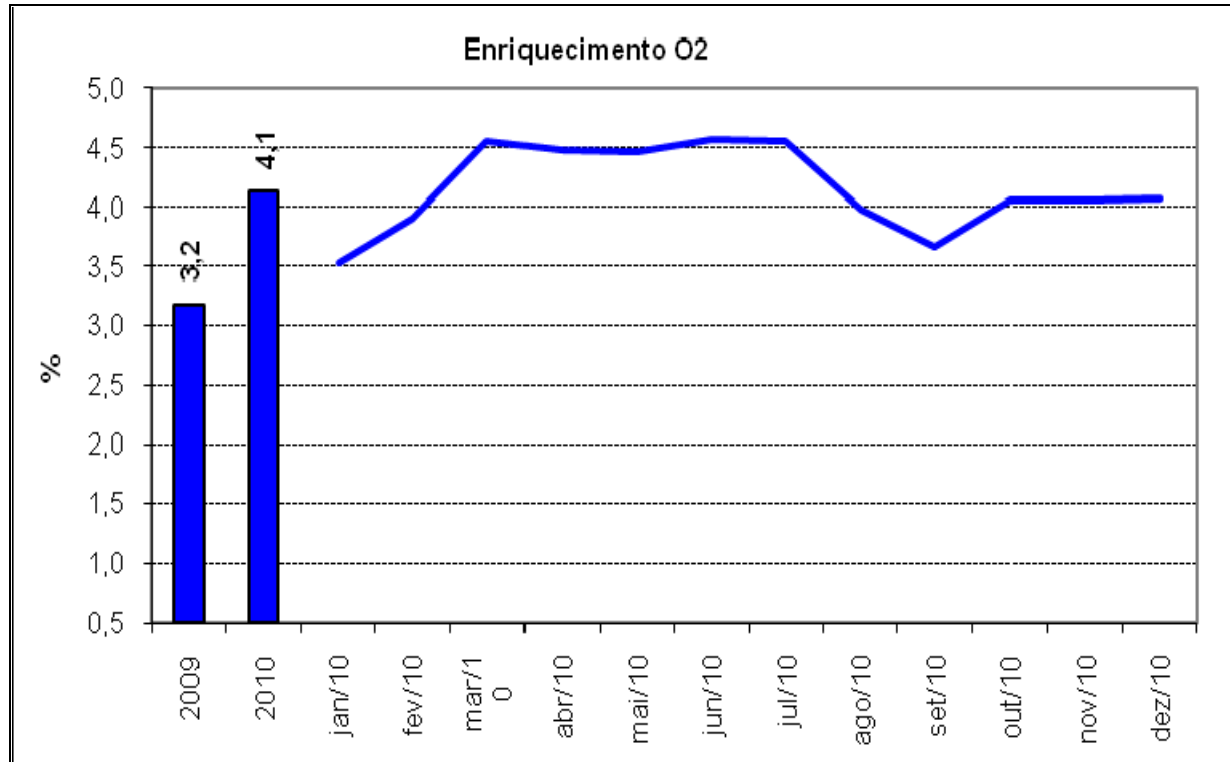
**Figura 3.** Temperatura indicada pelos termopares nas sondas radiais no topo do alto-forno II.

Na zona de combustão os finos injetados são consumidos através da reação com o ar quente injetado, enriquecido com oxigênio. Os gases quentes formados nessa reação são responsáveis pela redução e fusão da carga metálica. Esta região tem grande influência na distribuição dos gases dentro do reator e, por isso, é importante garantir uma distribuição de carga correta no topo do alto-forno para facilitar o maior fluxo de gases na região central do reator. A temperatura de saída dos gases desta zona, que é composta basicamente pelos gases CO, H<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>, é denominada temperatura de chama e é responsável por manter os níveis térmicos dentro do alto-forno.

Esta variável tem importante influência na temperatura do ferro-gusa, na incorporação do silício e do consumo específico de carbono, tendo uma relação direta com o desempenho operacional, ou seja, o aumento excessivo dessa temperatura pode aumentar o volume de gás prejudicando o escoamento gasoso dentro do reator, causando, portanto, uma descida irregular da carga, provocando engaiolamentos. Como forma de minimizar esta situação, trabalhamos com a distribuição de carga objetivando metade da carga de carvão no centro e a outra metade próxima da parede. Com isto, criaram-se condições para trabalhar com uma

temperatura de chama mais elevada e conseqüentemente elevar a taxa de injeção de finos sem afetar a descida da carga.

Além disso, utilizou-se o enriquecimento do ar de sopro com oxigênio com valores próximos a 4%, garantindo a manutenção da temperatura de chama mesmo com a elevação da taxa de injeção de finos.



**Figura 4.** Gráfico do enriquecimento do ar de sopro com oxigênio.

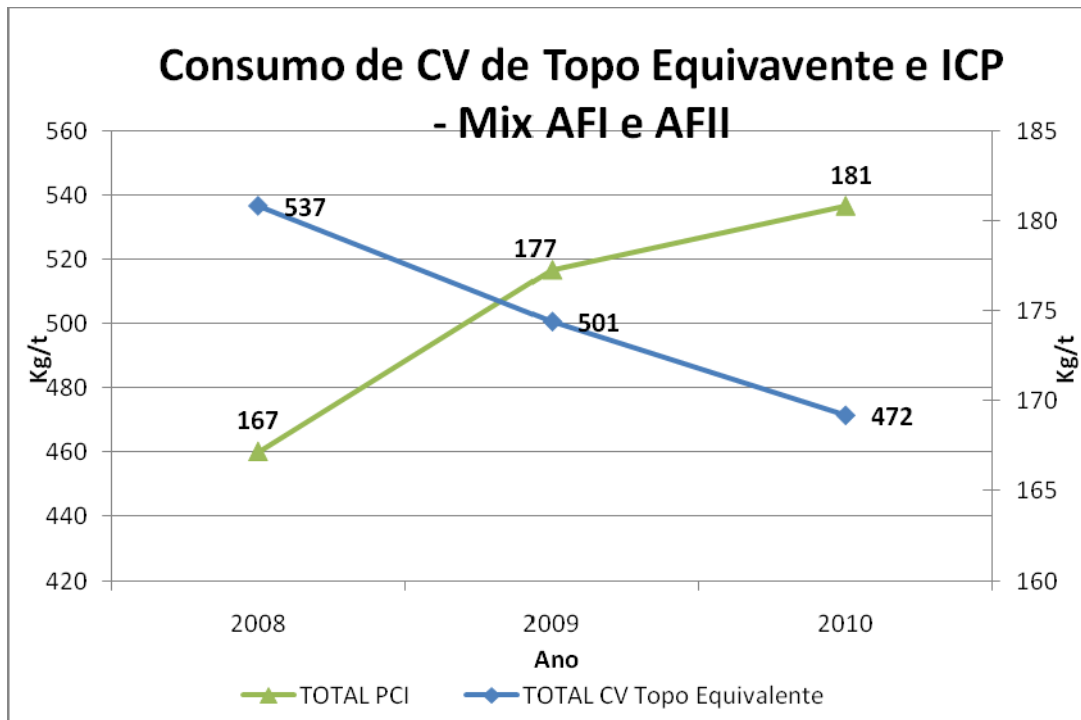
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar o efeito das ações tomadas, é necessário verificar a taxa de injeção de carvão vegetal e a uniformidade da injeção nas ventaneiras dos dois altos-fornos.

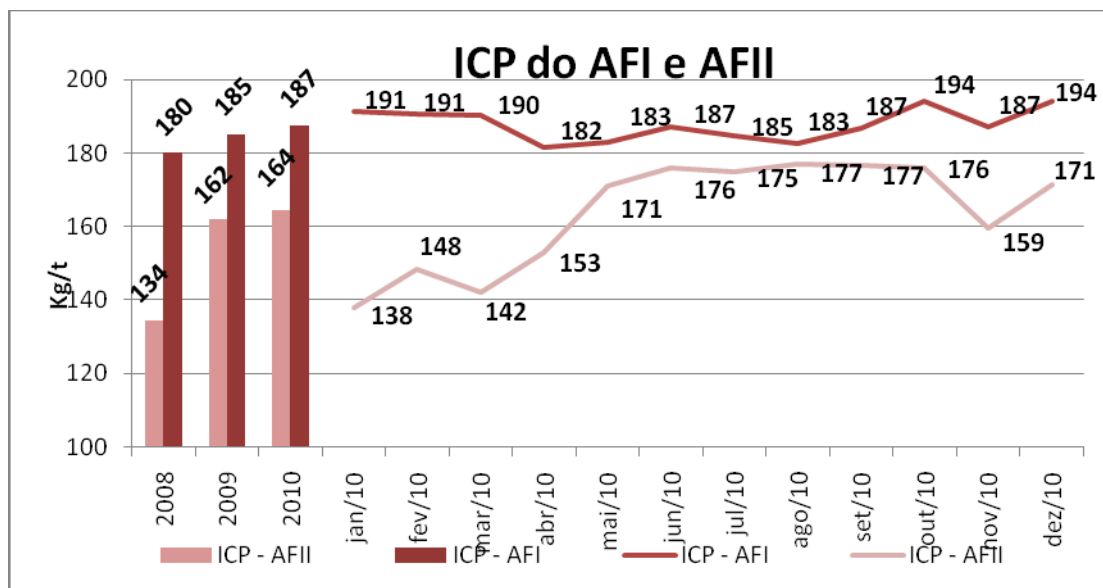
#### 3.1 Taxa de Injeção e Consumo de Redutor de Topo

O objetivo da injeção de carvão vegetal pulverizado no alto-forno na zona de combustão é substituir parte do carvão granulado enfiado pelo topo, entretanto as influências desse material no interior do forno devem ser destacados, uma vez que a injeção deste combustível nas ventaneiras permite reduzir a reserva térmica do alto-forno uma vez que as correções térmicas passam ser controladas através da variação da quantidade de carvão vegetal injetado. Mantendo-se assim uma melhor estabilidade térmica do forno.<sup>(2)</sup>

Como já foi citado anteriormente, a injeção de finos de carvão no alto-forno tem o objetivo de reduzir o consumo de carvão granulado. Com as modificações e controles implantados foi possível notar um aumento considerável na taxa de injeção de finos dos dois altos-fornos (Figuras 5 e 6).



**Figura 5.** Gráfico do consumo de carvão vegetal de topo equivalente e ICP nos altos-fornos da V&M do Brasil.



**Figura 6.** Gráfico da injeção de carvão vegetal pulverizado nos altos-fornos da V&M do Brasil.

Note que a injeção de finos de carvão vegetal tem aumentado continuamente atingindo patamares não antes alcançados nas siderúrgicas a carvão vegetal. Além disso, o alto-forno I tem uma taxa mais elevada, quando comparada do alto-forno II, entretanto, no segundo reator, conseguiu-se um aumento de 21% na taxa específica, contra 12% no primeiro reator.

Uma forma de avaliar a eficiência da combustão do pó injetado é acompanhar a redução do consumo de redutor de topo durante o aumento da injeção de finos. Esse acompanhamento pode ser observado nos Figuras 7 e 8.

### CV x ICP AFI

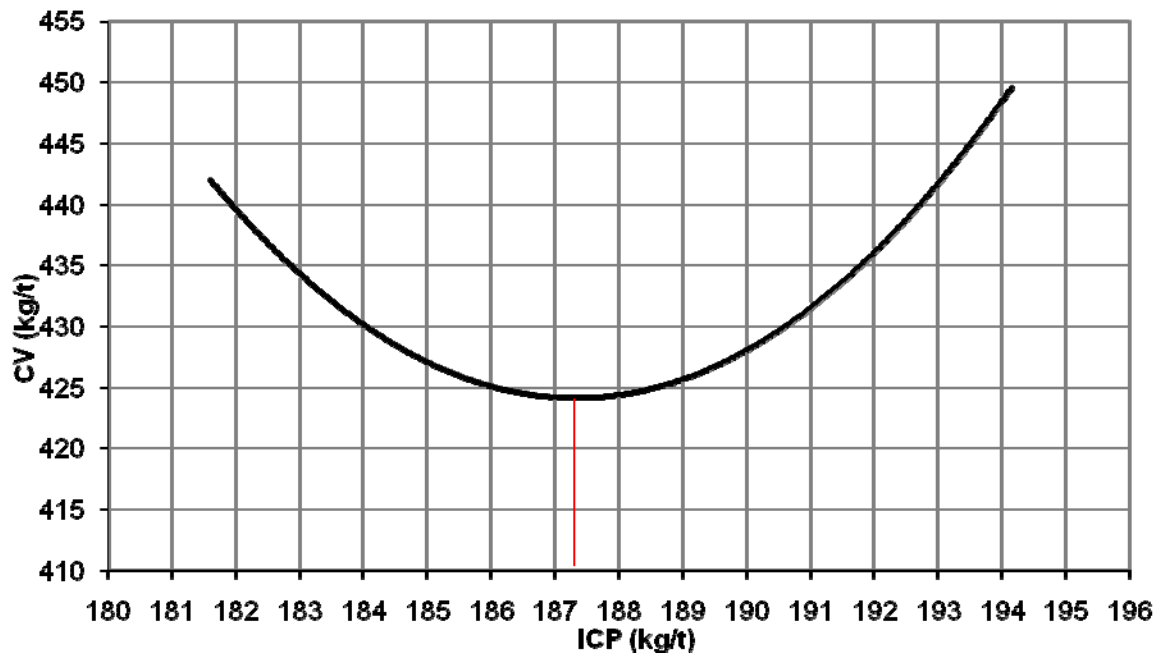


Figura 7. Carvão vegetal de topo *versus* injeção de finos no alto-forno I da V&M do Brasil.

### CV x ICP AFII

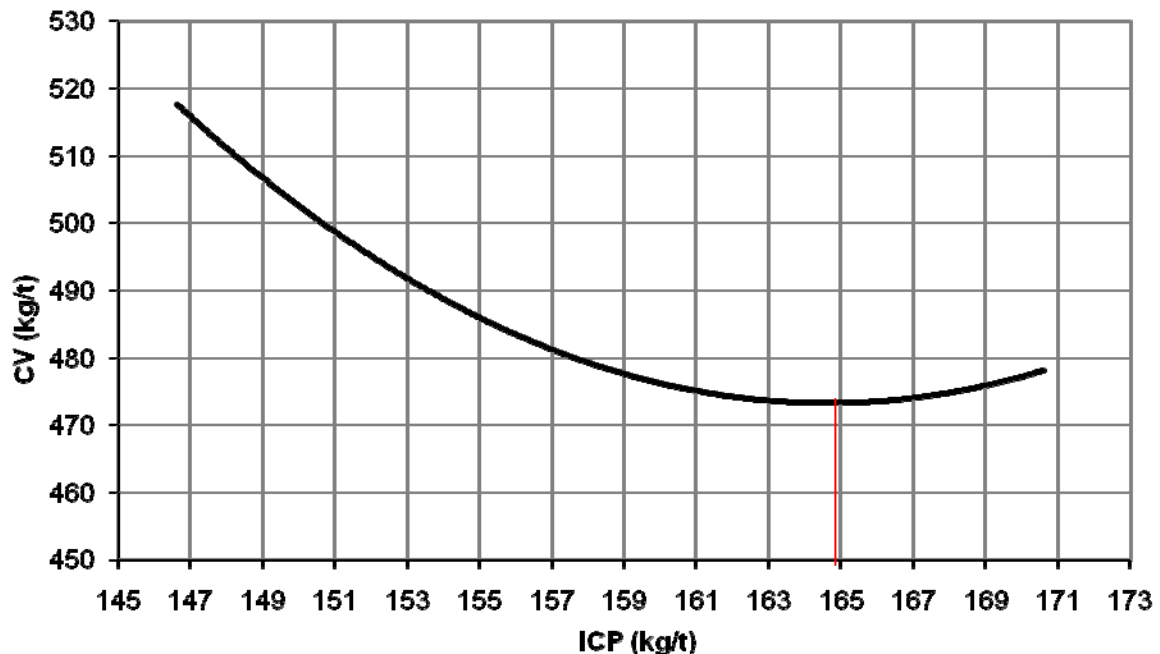
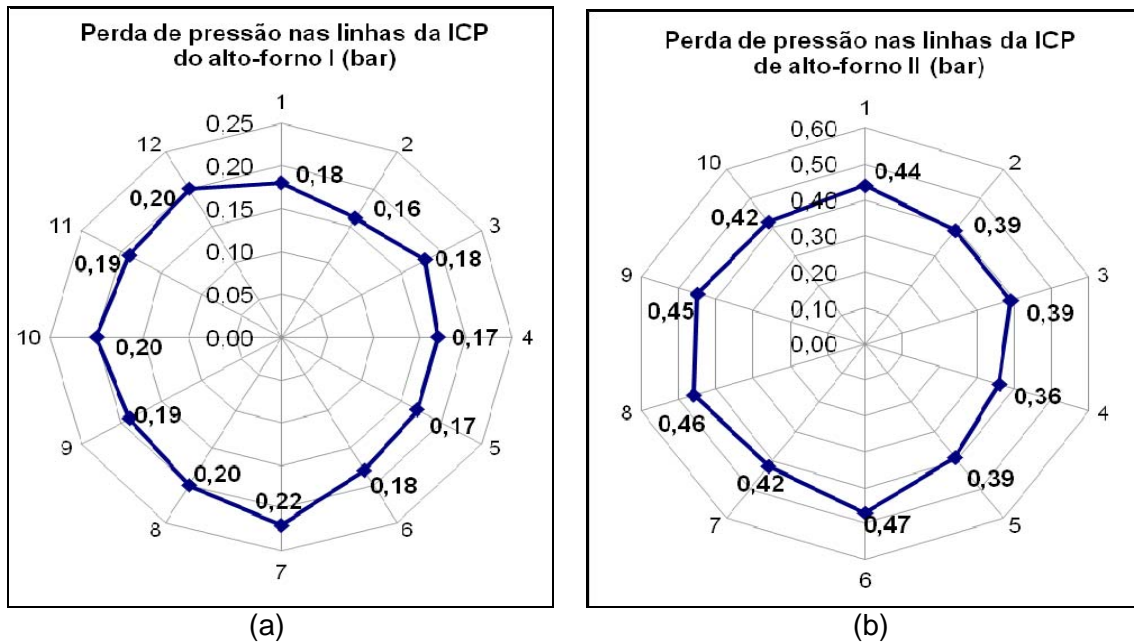


Figura 8. Carvão vegetal de topo *versus* injeção de finos no alto-forno II da V&M do Brasil.

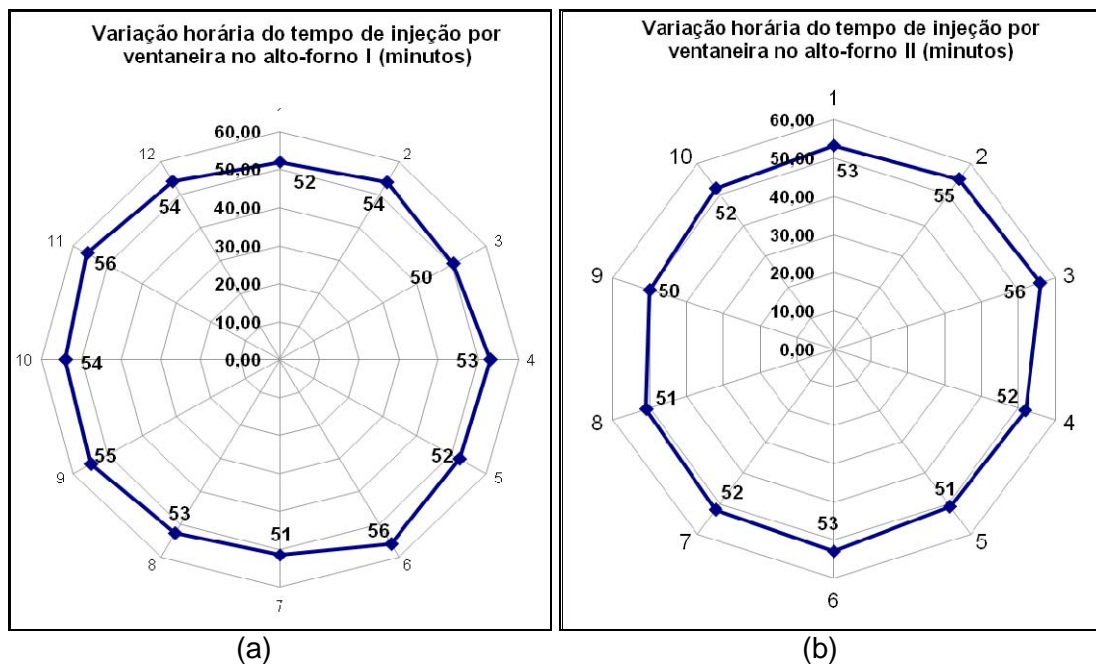
Dessa forma, obtêm-se a melhor eficiência de combustão do pó de carvão vegetal injetado com taxas de 187 kg/t e 165 kg/t no alto-forno I e no alto-forno II respectivamente.

### 3.2 Uniformidade da Injeção

Para manter o controle da quantidade e da distribuição uniforme do carvão a ser injetado no alto-forno é muito importante que o valor da perda de carga entre as tubulações de transportes sejam próximas entre si, isto realmente acontece porque o sistema de injeção tem um distribuidor onde a massa de material flui de forma uniforme para todas as linhas de transporte, favorecendo a estabilidade da operação dos altos-fornos. A Figura 9, nos mostra como o sistema é eficiente e promove esta distribuição uniforme e a Figura 10 mostra a variação horária do tempo de injeção por ventaneira.



**Figura 9.** Perda de pressão nas linhas do sistema de injeção de finos de carvão no alto-forno I (a) e no alto-forno II (b).



**Figura 10.** Variação horária do tempo de injeção por ventaneira no alto-forno I (a) e no alto-forno II (b).



Com esses gráficos é possível notar uma grande estabilidade e uniformidade da injeção em todas as posições, o que garante uma boa condição de operação dos reatores. Dessa forma, a operação dos altos-fornos se mostrou segura e viável com altas taxas de injeção de finos.

#### **4 CONCLUSÕES**

Com esse trabalho foi possível aumentar a taxa de injeção de finos de carvão vegetal em 12% no alto-forno I e 21% no alto-forno II. Esses resultados só torna possíveis através da melhoria da qualidade dos finos de carvão vegetal injetados nos altos-fornos com a redução da granulometria do pó o que garantiu o aumento da reatividade na região das ventaneiras. Outro ponto importante foi a instalação de um novo sistema de compressores dedicados para a injeção de finos. Dessa forma, o transporte de pó foi otimizado e a injeção tornou-se mais estável e homogênea.

Para uma operação mais estável dos altos-fornos, objetivou-se um fluxo gasoso mais central e um enriquecimento de 4% de oxigênio no ar de sopro, o que garantiu uma melhor combustão do pó e a manutenção da temperatura de chama.

Dessa forma, foi possível trabalhar com taxas de injeção mais elevadas e notar uma operação mais estável e economicamente viável.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a V&M do Brasil, em especial os Srs. Marcelo Almeida Cunha Ferreira e Paulo Miranda Gonçalves por viabilizarem a realização desse trabalho.

Os autores também agradecem a equipe de manutenção siderúrgica, em especial os Srs. Marcelo Fontán Souza e Kelsey Fonseca Dias pelo suporte em todo o trabalho.

#### **REFERÊNCIAS**

- 1 OLIVEIRA, R.P.; MANETTA, H.R.; CRUZ, J.G.; MAIA, M.E.S.; GOMES, D.A.; MONTEIRO, M.R.; COSTA, G.B.. Operação dos altos-fornos da V&M do BRASIL com altas taxas de injeção de carvão pulverizado. Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 105-110, out.-dez. 2008.
- 2 OLIVEIRA, R.P.; ASSIS, P.S.; MANETTA, H.R.; DINIZ, F.E.; COSTA, B.C. Determinação da combustão de carvão vegetal pulverizado em um simulador de injeção para aumento da taxa de injeção nos altos-fornos da V&M do BRASIL. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS PRIMAS, 37, 2007, Salvador, BA. Anais... São Paulo: ABM, 2007. p. 56.