

# EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DAS ESTAÇÕES DE INJEÇÃO DE CARVÃO PULVERIZADO DA CSN<sup>1</sup>

Luíz Edival de Souza<sup>2</sup>  
Ricardo Sebastião Nadur Motta<sup>3</sup>  
Rodolfo Baldini Figueira<sup>4</sup>

## Resumo

A evolução tecnológica das estações de injeção de carvão pulverizado da CSN tem por finalidade melhorar a taxa de injeção de carvão para os altos-fornos e mantê-la constante. Foram instalados novos equipamentos e realizadas várias alterações no intertravamento das válvulas para melhorar o desempenho geral da planta e do processo de injeção contínua de carvão pulverizado para os Altos-fornos 2 e 3 da CSN. Com o projeto da Pressurização do Anel de Fluidização dos Vasos de Injeção de Carvão Pulverizado, criou-se uma linha independente para o vaso de injeção na fase de pressurização rápida, e eliminou-se a interferência do vaso oposto que estava injetando carvão pulverizado para os Altos-fornos. Com a alteração na lógica das estações de injeção, no momento da troca dos vasos, o processo ganhou 25 s de tempo extra dedicados ao vaso que acabou de entrar na fase de injeção. Instalou-se um medidor de vazão moderno, Densflow, de forma a mudar os parâmetros de injeção e ter maior controle no processo. Com o sétimo fluidizador, reduziu-se a perda de carga, além de adquirir mais um ponto de fluidização para evitar a queda de injeção. Com a retirada da placa de orifício da linha principal de injeção, conseguiu-se injetar maior quantidade de carvão com a mesma quantidade de nitrogênio. As válvulas na saída dos silos de fino foram duplicadas e o peso máximo dos vasos de injeção pode ser aumentado. Os consumos específicos de nitrogênio e energia elétrica do PCI foram reduzidos, tornando-o mais estável operacionalmente e também mais econômico em comparação ao que foi projetado. Reduzimos a variação na taxa de carvão pulverizado na fase de pressurização rápida. A redução na média dos tempos de preparação do vaso em 26,5 s proporcionando aumento da capacidade máxima de injeção de 48,45 t/h para 52,7t/h. O desvio padrão da vazão de carvão pulverizado foi reduzido de 2,5 t/h para 2,0 t/h, diminuindo a variabilidade da vazão de carvão pulverizado.

**Palavras-chave:** Carvão pulverizado; Estação de injeção; Alto-forno.

## TECHNOLOGICAL EVOLUTION OF PULVERIZED INJECTION COAL STATIONS

### Abstract

The technological evolution of CSN's pulverized coal injection stations describes the several methods used to increase the PCI performance and to minimize the variability of the nitrogen of fluidization and thus improve the rate of injection of coal for blast furnaces. Several changes were made in the interlocking of valves and installation of new equipment for the purpose of controlling the parameters of injection. The new design of the pressurized fluidization ring of vessels for pulverized coal injection created an independent line to the vessel during the injection of fast pressurization, and eliminated the interference of the vessel which was opposite to the pulverized coal injection for blast-furnaces. With the change in the injection stations logics at the time of the exchange vessel, left 25 s more in the injection phase. The control of the pneumatic conveying was improved due the installation of the Densflow instrument. With the seventh point of fluidization, the coal flow stability was improved. With the withdrawal of the orifice plate, managed to inject greater quantity of coal with the same amount of nitrogen. With the valves in the silos output allowed the maximum weight of injection vessel. The PCI specific consumption of nitrogen and energy was reduced, doing it operationally more stable and more economical in comparison to what was projected. Reduce the variation in the rate of pulverized coal in the phase of fast pressurization. The of preparation of the vessel was reduced in 26.5 seconds. The variability of the coal flow was reduced and the maximum coal flow capacity was increased from 40 to 50 t/h.

**Key words:** Pulverized coal; Injection station; Blast furnace.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.

<sup>2</sup> Professor Titular da UNIFEI - Avenida BPS, 1303 - CEP37500 - Itajubá - MG. edival@unifei.edu.br;

<sup>3</sup> Doutorando em Controle de Processos pela UNIFEI e Engenheiro de Desenvolvimento Sênior da CSN. Rod. BR 393 - Lúcio Meira km 5001 - S/Nº Vila Santa Cecília - Volta Redonda -RJ - nadur@csn.com.br

<sup>4</sup> Supervisor de Manutenção Mecânica do Sistema de Injeção de Carvão Pulverizado da Companhia Siderúrgica Nacional - Rod. BR 393 - Lúcio Meira km 5001 - S/Nº Vila Santa Cecília - Volta Redonda -RJ - rodolfo@csn.com.br



## 1 INTRODUÇÃO

O sistema de injeção de carvão pulverizado – PCI da CSN foi fornecido e comissionado pela BMH - Babcock Material Handling (atual Claudius Peters) em 1997.

O PCI possui três estações de injeção (uma para o AF#2 e duas para o AF#3), cada uma com 2 vasos trabalhando em ciclos alternados (carregamento, espera despressurizada, pré-pressurização, pressurização rápida, espera pressurizada, injeção e alívio) de modo a garantir a continuidade da vazão de carvão para os altos-fornos. Enquanto um vaso está injetando para o alto-forno, seu vaso complementar está se preparando para injetar.

## 2 OBJETIVO DO TRABALHO

Aumentar o desempenho geral do processo e sua capacidade máxima de injeção. Reduzir a variação na taxa de injeção de carvão para os altos-fornos na fase de pressurização rápida e obter maior controle nos parâmetros de injeção, tal como realizado no trabalho de Motta et al.<sup>(1)</sup>

## 3 PROJETO DA PRESSURIZAÇÃO DO ANEL DE FLUIDIZAÇÃO DOS VASOS DE INJEÇÃO DE CARVÃO PULVERIZADO

O projeto de pressurização do anel de fluidização da CSN<sup>(2)</sup> teve como objetivo principal, evitar que a vazão de fluidização seja direcionada para dois vasos simultaneamente. Com as evoluções sofridas no sistema de injeção de carvão pulverizado desde 1997, o vaso que estava injetando apresenta uma queda da vazão de fluidização durante 160 s, causada por uma perturbação do vaso oposto que se encontrava na fase de pressurização rápida, visto que as duas linhas pertenciam ao mesmo ramal.

A figura 1 ilustra o projeto de injeção de carvão pulverizado da CSN em 1998:

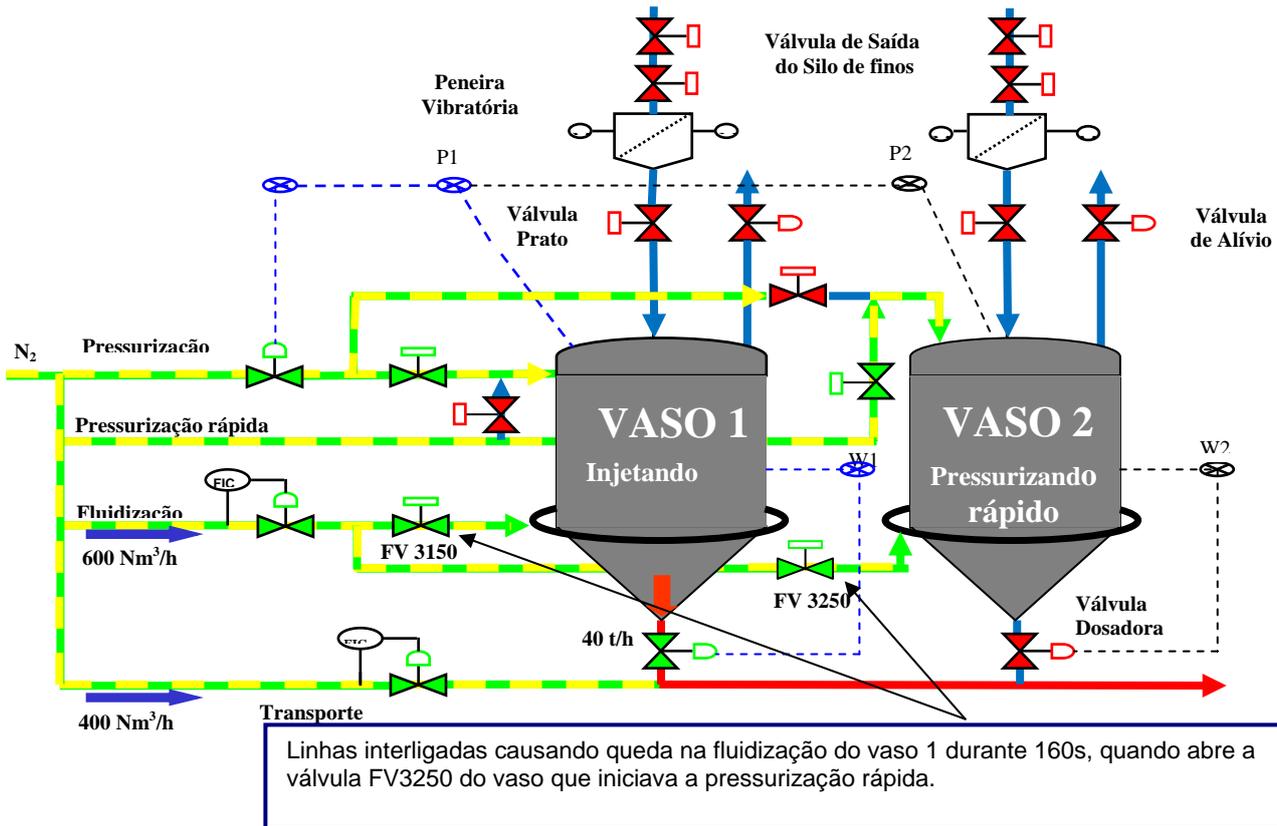


Figura 1 - Modificação no projeto da estação de injeção.

A Figura 2 ilustra a fluidização interligada no mesmo ramal. Quando a válvula FV3250 do vaso que está pressurizando rápido, a vazão de fluidização se divide e causa uma grande variação na taxa de injeção no vaso oposto que está injetando.

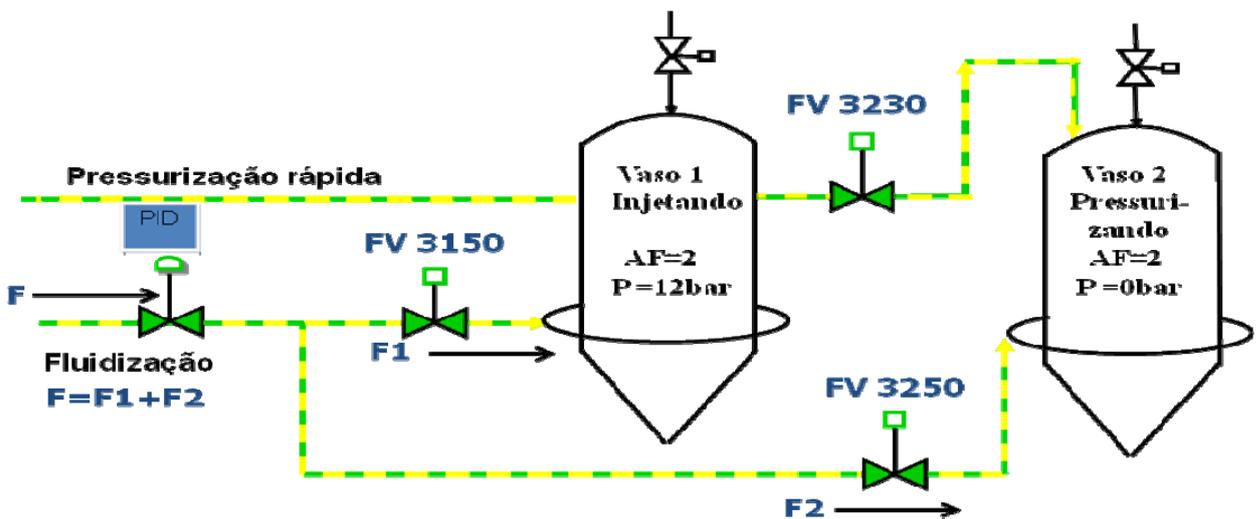


Figura 2 – Vazão de fluidização dividida para dois vasos.

O gráfico da Figura 3 ilustra a abertura da válvula de fluidização FV 3250, a vazão de fluidização vai toda para o vaso que está pressurizando e tem menor pressão (Vaso 2; P=0 bar).

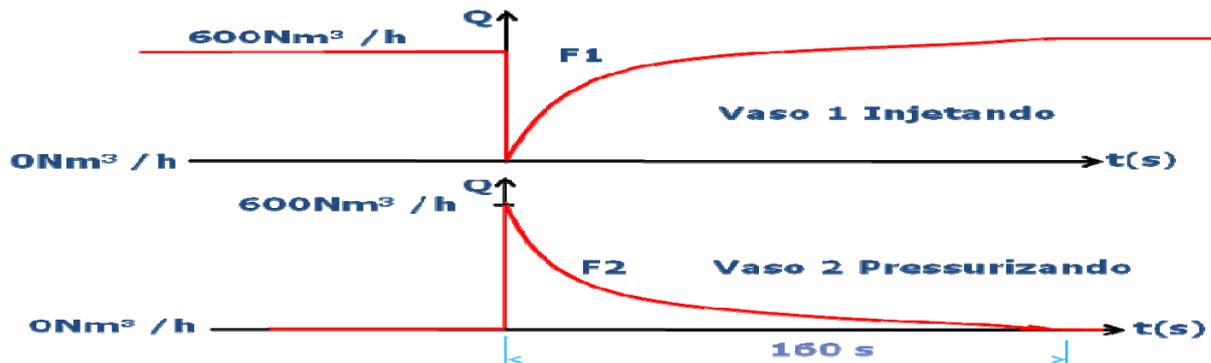


Figura 3 – Divisão na vazão de fluidização.

Com a construção da linha de pressurização do anel de fluidização dos vasos de injeção de carvão pulverizado,<sup>(2)</sup> a linha de fluidização tornou-se independente na fase de pressurização rápida, garantindo assim a contra pressão nos fluidizadores sem alterar a vazão de fluidização do vaso oposto que se encontra injetando.

No projeto CSN foi construído um ramal de tubulação independente de 2" diretamente montado na linha principal de 8" de abastecimento dos tanques de armazenagem de nitrogênio. Esta montagem oferece menor perda na carga na válvula de pressurização rápida e proporciona um menor tempo de pressurização do vaso, e conseqüentemente maior capacidade de injeção em t/h.

Em 2008, foram incluídas as novas válvulas do projeto da pressurização do anel de fluidização dos vasos de injeção de carvão pulverizado da CSN para 2008, destacando a pressurização rápida.

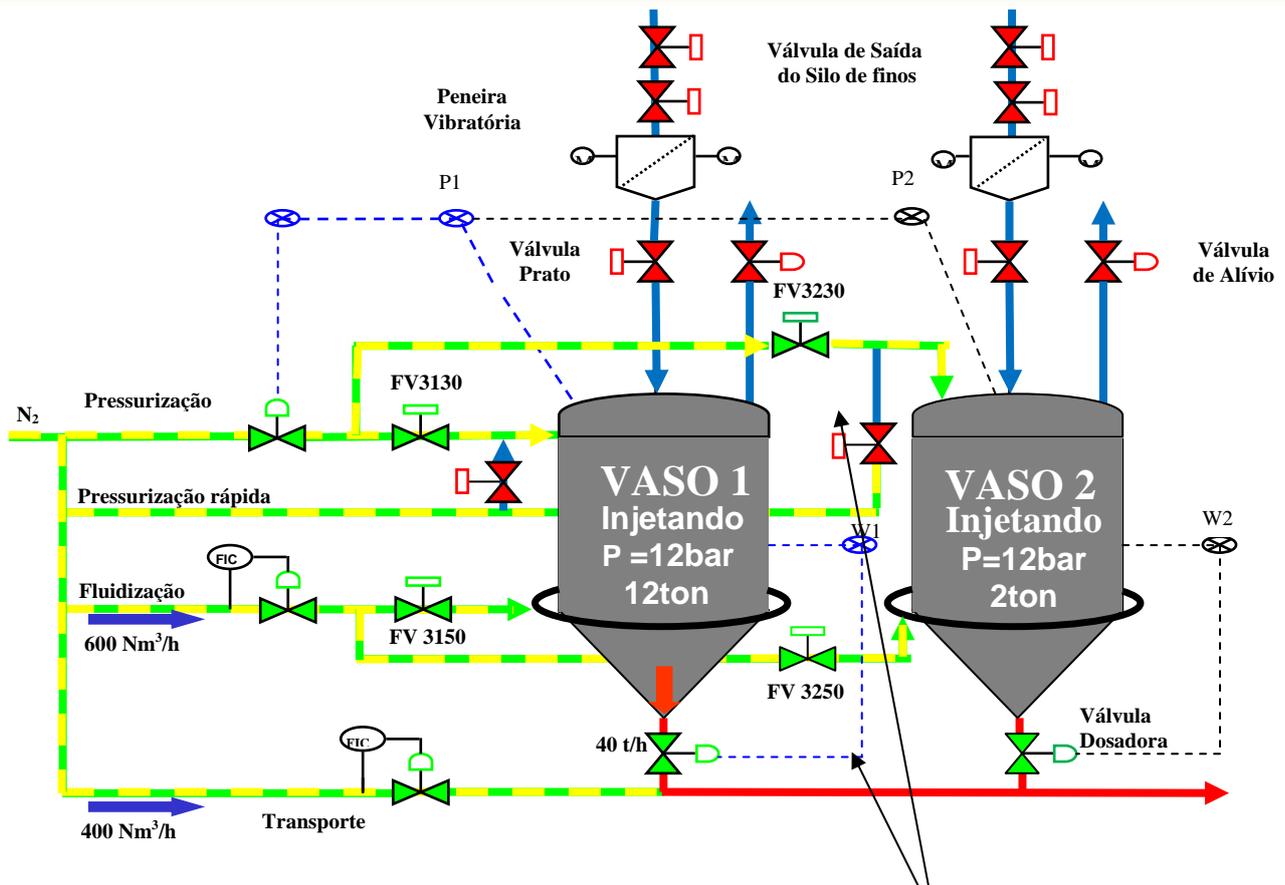
#### 4 DESCRIÇÃO DA LÓGICA ORIGINAL DA CLAUDIUS PETERS® (ANTIGA BMH)

Os tags dos sinais de campo usados nos exemplos a seguir, se referem à estação de injeção do AF#2, porém a lógica foi implementada nas três estações de injeção.

As válvulas de fechamento das linhas de controle de vazão de fluidização e de pressão de injeção do vaso ficavam abertas juntas para os dois vasos durante a troca dos vasos, com isto, atrapalhava o vaso que tinha iniciado a injeção, pois ele necessitava de maior controle de pressão e fluidização.

No momento em que os dois vasos passam a injetar simultaneamente para garantir a continuidade da injeção, válvulas de fluidização e pressurização do vaso que atingiu o peso mínimo foram fechadas, com isto o carvão fluirá com maior facilidade e não irá atrapalhar o vaso oposto que acabou de iniciar a fase de injeção ganhando 25 s na lógica.

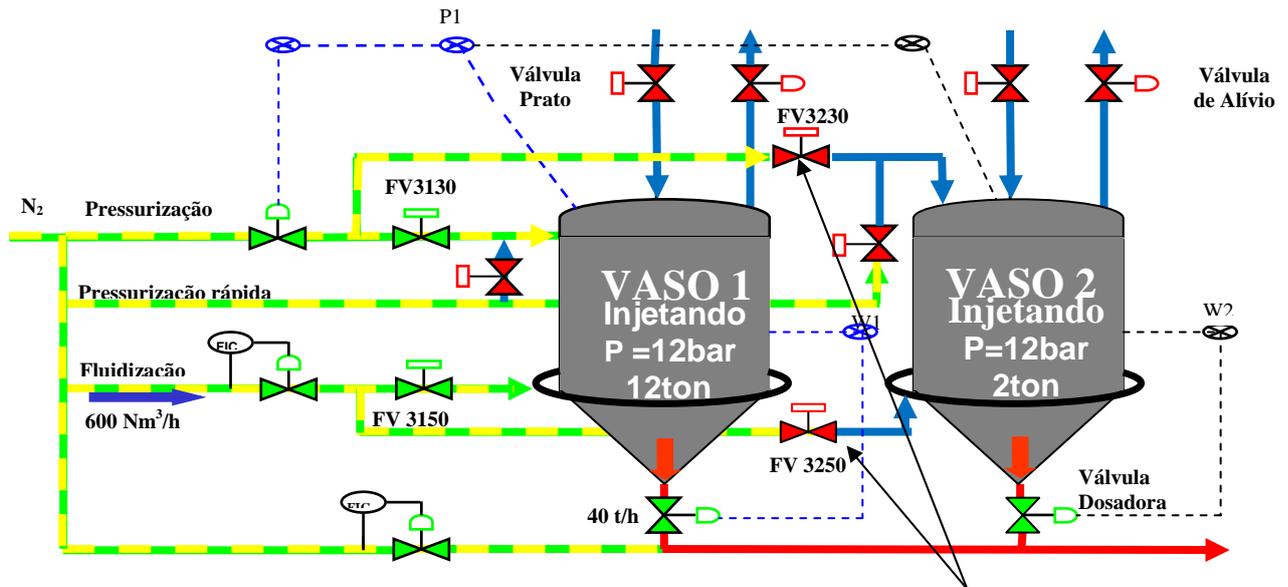
A Figura 4 ilustra o vaso 1 assumindo a injeção, enquanto o vaso 2 está no fim da injeção:



**Conclusão:** As válvulas de fluidização e de controle de pressão do vaso permaneciam abertas para ambos os vasos durante a troca atrapalhando o vaso que iniciava a injeção e precisava de maior concentração de fluidização e controle de pressão.

**Figura 4 -** Vaso 1 injetando e o vaso 2 finalizando a injeção.

A Figura 5 ilustra a nova lógica, com as válvulas de pressão (FV3230) e de fluidização (FV3250) fechadas, para melhora a injeção do vaso que irá assumir a injeção.



**Ação:** Fecharam-se as válvulas FV3230 e FV3250, concentrando o nitrogênio de fluidização no vaso que inicia a fase de injeção e contém maior peso de carvão a ser injetado.

**Figura 5** – Situação dos vasos de injeção durante a troca coma nova lógica.

## 5 MEDIÇÃO DE VAZÃO DE CARVÃO PULVERIZADO

O Densflow<sup>(3)</sup> é um sistema de medição desenvolvido especialmente para medição da vazão dos sólidos transportados, velocidade e densidade em fase densa. Sendo assim, é possível controlar e monitorar a velocidade, vazão, densidade, e com isto tem-se mais parâmetros do transporte pneumático, essencial para o controle da taxa de injeção de carvão pulverizado injetada nos altos-fornos.

## 6 FLUIDIZADOR EXTRA INCORPORADO NO CONE DO VASO DE INJEÇÃO

O objetivo principal do sétimo fluidizador é aumentar a fluidização do vaso de injeção, ampliando a zona de baixa densidade no cone base do vaso de injeção visando maior fluidez do carvão e melhorando a constância da vazão de carvão pulverizado.

A Figura 6 ilustra o fluidizador extra na linha no vaso 4 de injeção de carvão pulverizado do AF#3.



**Figura 6** - Fluidizador extra.

## 7 RETIRADA DA PLACA DE ORIFÍCIO DA LINHA PRINCIPAL

A placa de orifício de tungstênio foi colocada nas linhas de injeção principal durante o comissionamento da planta em 1997, com o objetivo de evitar corpos estranhos no interior do distribuidor. Mais tarde, percebeu-se o acúmulo de fibras de carbono conhecidas com "cabelos de anjo" devido à queda de pressão nas placas de orifício. Com a retirada das placas de orifício, conseguiu-se injetar a mesma quantidade de carvão com uma menor pressão no vaso, pois a queda na linha principal foi minimizada.

Isto proporcionou uma maior eficiência energética do processo bem como fim do acúmulo das fibras de carbono no distribuidor. Estas placas foram esquecidas até que em 2005, devido o aumento da taxa de injeção da média de 35 t/h para 40 t/h, foi observado que o aumento da pressão dos vasos estava ineficaz contra a queda de pressão na linha principal de 4", o que impede a fluidez do fluxo de carvão. Na verdade, estas placas têm que ser retiradas após um curto período de funcionamento, pois sua principal função (conhecido também como Chapéu de Bruxa) já foi cumprida.

A Figura 7 ilustra a placa de orifício retirada da linha principal



Figura 7 - Placa de orifício.

## 8 VÁLVULAS AUTOMÁTICAS DE FECHAMENTO EM SÉRIE NA SAÍDA DO SILO DE FINOS

As válvulas de manutenção de saída do silo de carvão pulverizado que estão em série com as válvulas automáticas, foram automatizadas e inseridas na lógica de controle. Os sinais de comando destas válvulas bem como suas chaves de fim-de-curso atuam de forma conjunta lógica de controle.

A duplicação das válvulas de saída do silo de finos potencializou seu fechamento e vedação para a interrupção do fluxo de carvão, para o carregamento dos vasos através das peneiras vibratórias. Com isto, consegue-se carregar um maior peso máximo no vaso de injeção, diminuindo os ciclos dos vasos, aumentando a capacidade máxima de injeção e aumentando a vida útil das válvulas prato e alívio.

A Figura 8 ilustra a válvula borboleta do fabricante Tyco, sendo testada na bancada para serem instaladas nas saídas dos silos de finos dos Altos-fornos 2 e 3 da CSN.



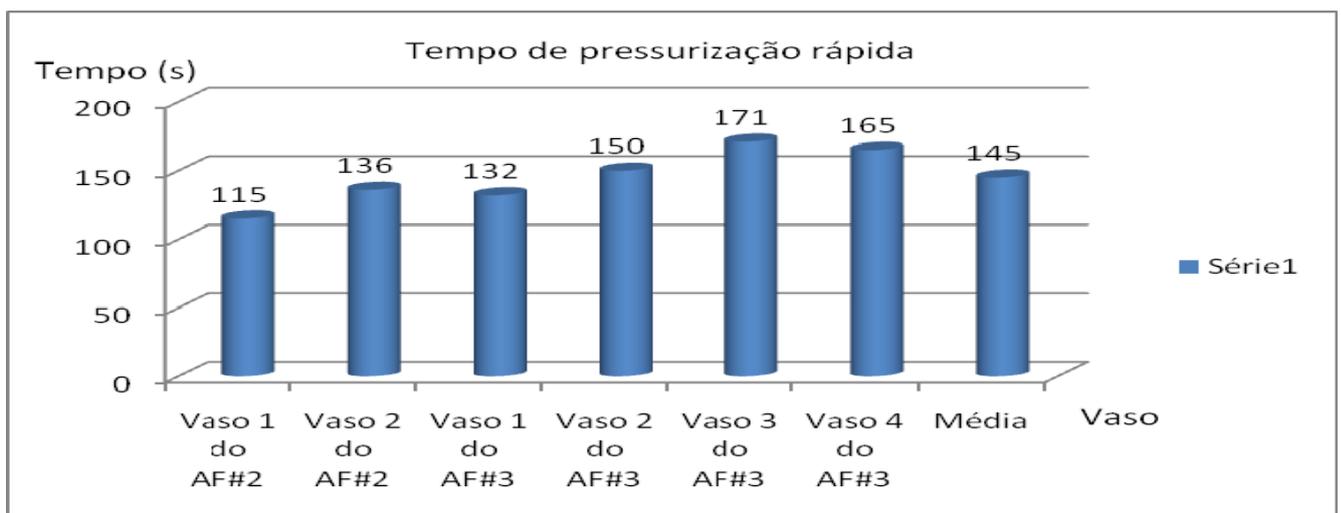
**Figura 8** - Válvulas automáticas de fechamento na saída do silo de finos.

## 9 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

O principal resultado esperado foi atingido com a eliminação da interferência na vazão de fluidização e a redução da variabilidade da vazão de carvão pulverizado na linha principal de injeção. Isto foi uma consequência da maior estabilidade na vazão de fluidização dos vasos de injeção.

O fluidizador extra ou sétimo fluidizador proporcionou mais um ponto de fluidização no cone do vaso de injeção aumentando o volume da zona de baixa densidade. O sétimo fluidizador minimiza as perdas de carga resultante dos filtros de bronze sinterizados, para permitir uma maior vazão de nitrogênio. Isto reduziu o tempo de pressurização do vaso.

O gráfico da Figura 9 ilustra a medição dos tempos gastos pela pressurização rápida antes da implantação do projeto da Evolução Tecnológica das Estações de Injeção de Carvão Pulverizado, efetuada com N<sub>2</sub> de alta pressão advinda dos compressores, considerando a pressão dos tanques de nitrogênio em 17 bar e o de pressão do vaso em 12 bar:



**Figura 9** - Tempo gasto pela pressurização rápida antes da Evolução Tecnológica das Estações de Injeção.

O gráfico da Figura 10 ilustra a medição dos tempos gastos pela pressurização rápida após a implantação do projeto da Evolução Tecnológica das Estações de Injeção de Carvão Pulverizado, considerando a pressurização do anel

de fluidização. O tempo de pressurização rápida será reduzido em 26,5 s, conforme o gráfico da Figura 10:

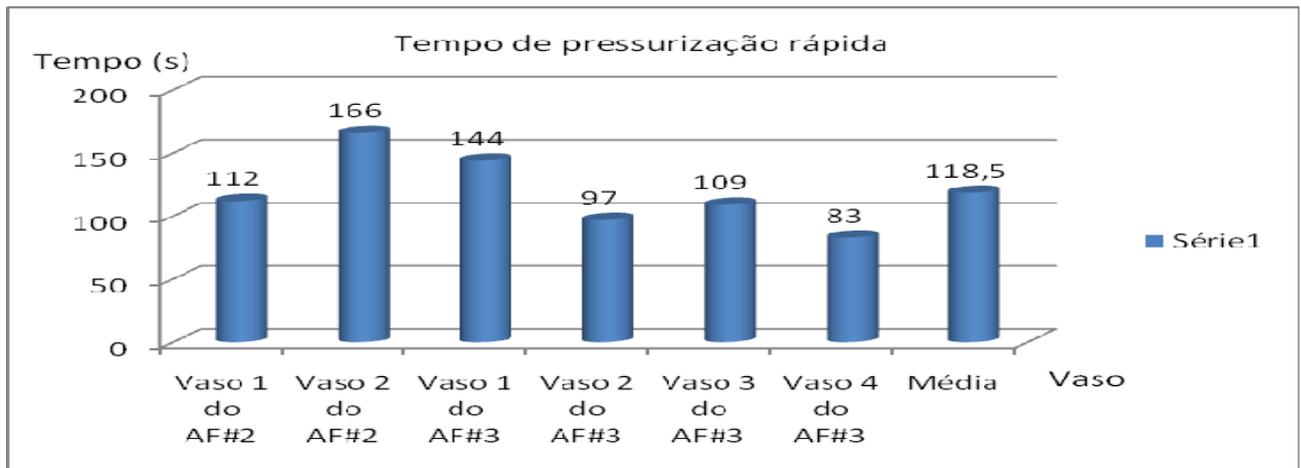


Figura 10 - Tempo gasto pela pressurização rápida após a Evolução Tecnológica das Estações de Injeção.

O potencial médio da capacidade máxima de injeção para os altos-fornos antes da implantação do projeto da Evolução Tecnológica das Estações de Injeção de Carvão Pulverizado era de 48,45 t/h. Os trabalhos descritos de repotencialização do PCI [1] elevaram a capacidade nominal de injeção de 40 t/h para 48,45 t/h em média devido à redução dos tempos gastos nas fases de carregamento e pressurização. O aumento ou a disponibilidade da capacidade de injeção também contribui para as metas e objetivos pesquisados internacionalmente em Birk e Wolfgang,<sup>(4)</sup> Birk e Medvedev<sup>(5)</sup> e Birk, Johansson e Medvedev.<sup>(6)</sup>

O gráfico da Figura 11 ilustra a capacidade máxima de injeção de cada vaso:

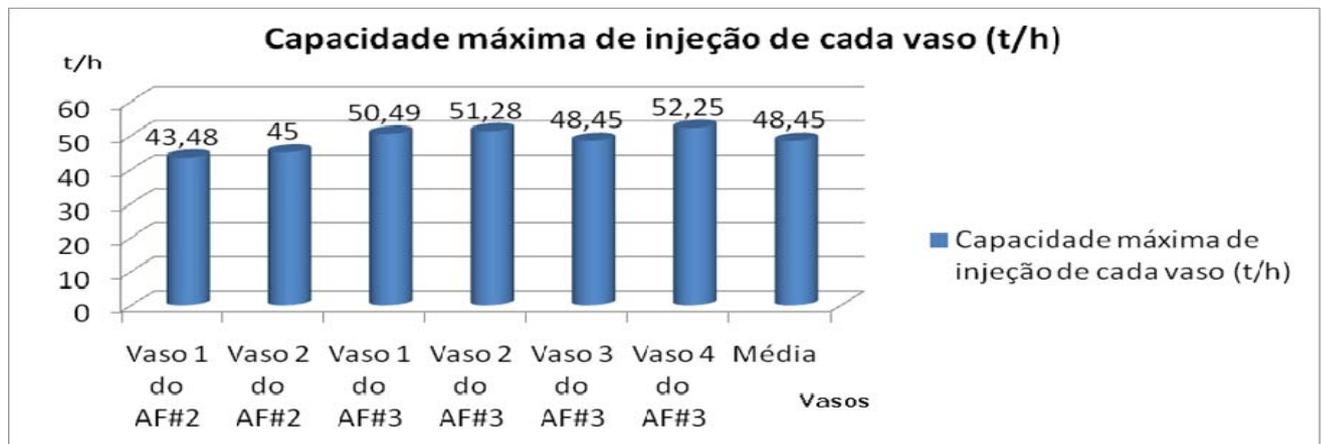


Figura 11 – Capacidade de injeção (t/h) antes da Evolução Tecnológica das Estações de Injeção.

O efeito colateral positivo foi a redução no tempo de pressurização gasto pelo vaso durante a sua preparação. Isto proporciona um aumento na capacidade nominal de injeção tal como demonstrado em Motta et al.<sup>(1)</sup>

O potencial médio da capacidade máxima de injeção para os altos-fornos após implantação do projeto da Evolução Tecnológica das Estações de Injeção de Carvão Pulverizado é atualmente de 52,7 t/h, ou na prática, 50 t/h conforme o ilustra o gráfico da Figura 12 com a capacidade máxima de injeção de cada vaso:



Figura 12 – Resultados da Capacidade de injeção (t/h), após melhorias.

## 10 CONCLUSÕES

A interferência na vazão de fluidização do vaso que está injetando foi eliminada do processo. A variação na vazão de carvão pulverizado durante a fase de pressurização rápida do vaso oposto foi totalmente eliminada.

O efeito colateral positivo da nova linha de pressurização e das novas estratégias de controle é a redução no tempo de pressurização gasto pelo vaso durante a sua preparação (de 145 s para 118,5 s totalizando 26,5 s reduzidos em cada rota de injeção). A redução na média dos tempos de preparação dos vasos caiu em 26,5 s, proporcionando um aumento na capacidade máxima de injeção.

Em resumo, o aumento da capacidade máxima de injeção foi também obtido pela duplicação das válvulas de abastecimento de saída dos silos de carvão fino, bem como pela retirada das placas de orifício e pelo ganho de tempo extra de 25 s obtido pela nova estratégia de controle. Aumentou-se o potencial médio na capacidade máxima de injeção de 48,45 t/h para 52,7 t/h, aumentando o PCR de 230 kg/tgusa para 250 kg/tgusa.

A redução da variabilidade da vazão de carvão pulverizado foi constatada pela redução do desvio padrão de 2,5 t/h para 2 t/h em média após várias amostras. O percentual de acerto na faixa ótima ( $\pm 5\%$ ) do controle de vazão de carvão na linha principal de transporte pneumático foi aumentado de 66 % para 73 % em média.

## REFERÊNCIAS

- 1 Motta, R.S.N., Zanetti, C.H., Figueira R.B., Mendes A. R. Expansão da Capacidade Nominal de Injeção da Planta PCI da CSN de 40 para 50 T/h. XXII Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades da ABM. 28, 29 e 30 de Junho de 2000 – João Monlevade – MG
- 2 Castro S.M., Motta, R.S.N - Monografia UFF - Volta Redonda - 2008; Pressurização do Anel de Fluidização dos Vasos de Injeção de Carvão Pulverizado.
- 3 SWR ® - Dens Flow Meter Device. Configuration manual. Freiburg - Alemanha – 2010.
- 4 Birk, Wolfgang, Luleå Tekniska Universitet - Institutionen för Systemteknik. Pressure and Flow Control of a Pulverized Coal Injection Vessel. Master in Science thesis - Suécia - 1997.
- 5 Birk, W., & Medvedev, A. Pressure and flow control of a pulverized coal Injection vessel. Proceeding of the 1997 IEEE - International conference on control plications (pages 127-132).
- 6 Birk, W., Johansson, A., Medvedev, A. Model-Based control for a fine coal injection plant . IEEE Control System Magazine, 19(1),33-43. International conference on control applications (pages 127-132).