

# EVOLUÇÃO DO TRANSPORTE PNEUMÁTICO DAS ESTAÇÕES DE DESSULFURAÇÃO EM CARRO TORPEDO DA CSN<sup>1</sup>

Ricardo Sebastião Nadur Motta<sup>2</sup>  
Cláudio Márcio Santos de Araújo<sup>3</sup>  
Celso Paulo Neves<sup>4</sup>  
Carlos Alberto da Costa<sup>5</sup>  
Márcio Wallace Costa Gomes<sup>6</sup>

## Resumo

A planta de dessulfuração de gusa em carros torpedo da CSN possui duas estações de injeção de CaC<sub>2</sub> com capacidade de 100kg/min cada. Elas podem reduzir o teor de enxofre do gusa de 0,040 para 0,012%. O projeto da Nippon Steel Confab® de 1981 utilizava o controle da taxa de injeção com base na velocidade de uma válvula de dosagem do tipo rotativa e o transporte pneumático com controle de vazão de N<sub>2</sub> de arraste. O desenvolvimento modificou o processo com a adição de duas malhas de controle, conde de fluidização e válvula tipo disco deslizante de cerâmica. O novo sistema de controle tem se mostrado mais eficiente, rápido e preciso do que o original, diminuindo o consumo específico de agente dessulfurante de 2,99 para 2,92 kg/tongusa e elevando o fator K, que mede a eficiência de dessulfuração, de 0,3063 para 0,3100 em média.

**Palavras-chave:** Transporte pneumático; Dessulfuração de gusa; Carro torpedo.

## PNEUMATIC TRANSPORT EVOLUTION OF THE DESSULPHURATION STATIONS IN THE CSN'S TORPEDO CARS

### Abstract

CSN's hot metal desulfurization has got two torpedo car CaC<sub>2</sub> injection stations with maximum capacity of 100kg/min each.. They can reduce hot metal sulphur content from 0.040% down to 0.012%. The Nippon Steel Confab® design from 1981 used the control of the injection rate based in the speed of a dosing rotary valve and the pneumatic transport with N<sub>2</sub> flow control. The development modified the process with the addition of two new loop controls, fluidisation cone and a ceramic sliding disc valve. The new control system has shown more efficient, precise and faster than the original, decreasing the specific consumption of desulphur agent from 2,99 down to 2,92 kg/THM and increasing the K factor, that measures the desulfurization efficiency from 0,3063 up to 0,3100 in the average.

**Key words:** Pneumatic transportation; Hot metal desulphurization; Torpedo car.

<sup>1</sup> Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

<sup>2</sup> Engenheiro Sênior – [nadur@csn.com.br](mailto:nadur@csn.com.br) - GGAF/GMG;

<sup>3</sup> Técnico de Desenvolvimento - [claudio.araujo@csn.com.br](mailto:claudio.araujo@csn.com.br) - GGAF/EDG;

<sup>4</sup> Técnico de Controle de Processos – [celso.neves@csn.com.br](mailto:celso.neves@csn.com.br) -GGAF/EDG;.

<sup>5</sup> Técnico Mecânico – [carlos.alberto@csn.com.br](mailto:carlos.alberto@csn.com.br)- GGAF/EDG;.

<sup>6</sup> Técnico Elétrico – [marcio.costa@csn.com.br](mailto:marcio.costa@csn.com.br) - GGAF/EDG;.

## 1 INTRODUÇÃO

A planta de dessulfuração de gusa em carros torpedo da CSN, possui duas estações de injeção A e B de  $\text{CaC}_2$  com capacidade máxima de 100kg/min cada. Ela está localizado entre os Altos fornos e Aciaria. As estações de injeção podem reduzir o teor de enxofre do gusa de 0,040 para 0,012% aproximadamente, durante um período de 20 a 25 minutos.

A taxa de injeção por sua vez, tem que ser a mais constante possível, porque a quantidade de agente dessulfurante injetada variável dificulta a cinética das reações e com isso desperdiça um certo volume de agente, conforme demonstrado por Takano.<sup>(1)</sup>

As estações de injeção contém basicamente um vaso de injeção de 4,4 m<sup>3</sup> cuja pressão de trabalho é de 4,2 bar, e possui capacidade de 3,2 toneladas de  $\text{CaC}_2$ .

A pressão de injeção menor que 5 bar e relação kgSólido/kgGás,  $\mu$ , de 3 a 10, caracterizam o transporte pneumático como fase diluída. Existem duas malhas de controle: vazão de nitrogênio de transporte e taxa de injeção cujo princípio de controle é baseado na velocidade de uma válvula de dosagem do tipo rotativa de passagem horizontal. Esta válvula gera manutenção semestral pois as palhetas originais do rotor foram substituídas por borrachas, devido a obsolescência de seus sobressalentes. Além disto, tal como comentado por Dionísio<sup>(2)</sup> na pág. 93, sempre existe uma passagem entre o corpo e o rotor da válvula, e sua aplicação deve se limitar a sistema de transporte pneumático de máximo 1 bar de pressão. Esta é a principal causa do excesso de consumo de agente dessulfurante: vazamento pela rotativa.

## 2 OBJETIVOS

Devido a necessidade constante de se reduzir custo, mantendo a mesma produtividade, concebeu-se um novo sistema de transporte pneumático, baseado nas experiências e soluções práticas adotadas por Motta et al.<sup>(3,4)</sup> e nos modelos descritos por Assis.<sup>(5)</sup> O novo modelo de transporte pneumático em fase diluída descrito neste trabalho para a injeção de agente dessulfurante, utiliza uma válvula tipo disco deslizante e revestimentos internos em cerâmica para controlar a taxa de injeção sem sofrer tanta abrasão do agente dessulfurante. Aliada a esta nova válvula, tem-se a pressurização do vaso com o objetivo de criar um diferencial de pressão, visando eliminar o controle pela válvula rotativa. Neste novo sistema foram implantados uma melhor fluidização do vaso e um controle automatizado de todo processo do sistema de injeção. Com a substituição da válvula rotativa, eliminou-se seus problemas potências descritos no item 4 a seguir.

O desenvolvimento realizado modificou o sistema de transporte pneumático com o auxílio de duas novas malhas de controle relativas a pressurização e fluidização do vaso de injeção. Na base do vaso de injeção foi adicionado um cone de fluidização com malha de controle de vazão. O elemento de controle da taxa de injeção, válvula rotativa, foi substituído pela válvula especial de cerâmica do tipo "Sliding disc" com acionamento pneumático inteligente e transdutor de posição. Este Transdutor de posição tem por finalidade para monitorar o funcionamento da válvula com o auxílio do supervisor do processo.

### 3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE PNEUMÁTICO ORIGINAL

A Figura 1 a seguir ilustra o diagrama de processo e instrumentação do projeto original que funcionou entre 1981 e 2005:

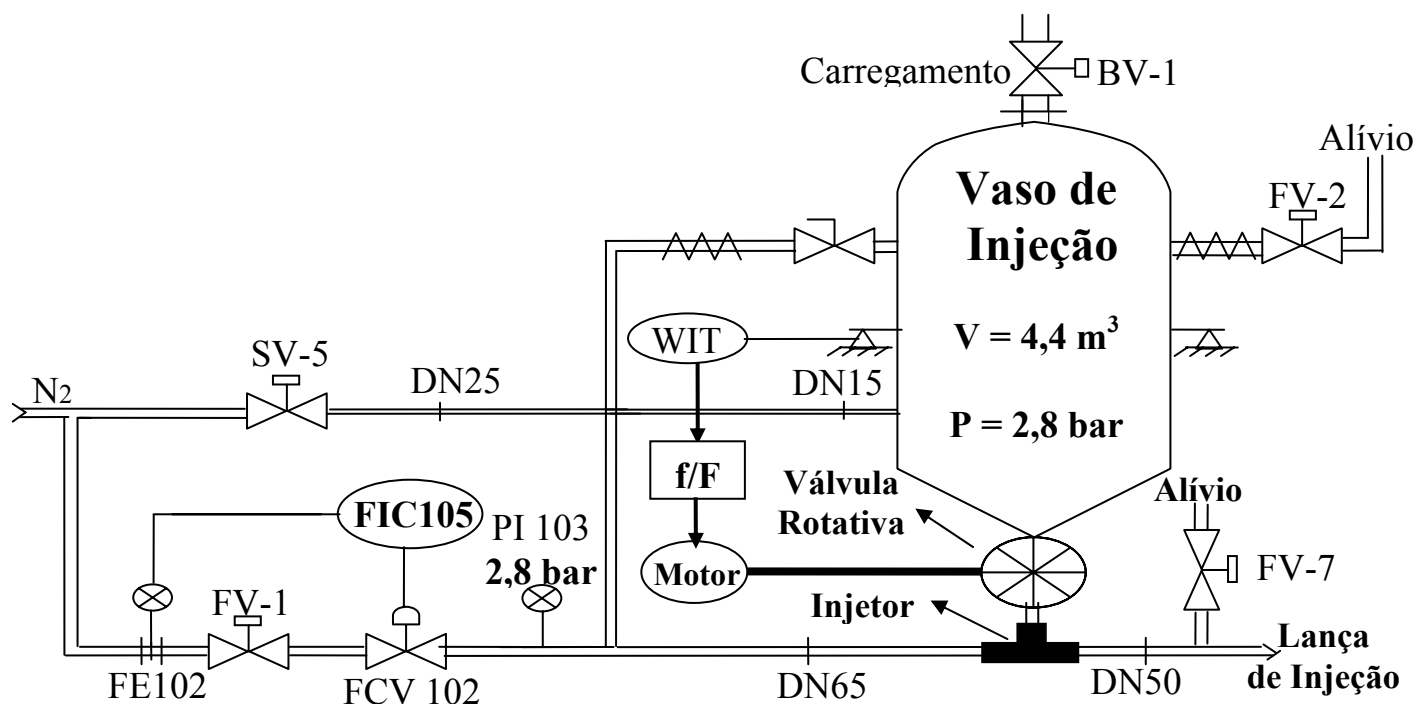


Figura 1. Diagrama de processo original da EDG;

Inicialmente o vaso de injeção aliviado é carregado com agente dessulfurante através da válvula borboleta de carregamento BV-1. Quando o carro torpedo carregado de gusa líquido está posicionado para a dessulfuração, a altura de banho do gusa é medida e então o operador inicia o processo. Imediatamente a válvula FV-1 é aberta e o vaso de injeção é pressurizado com a mesma pressão de transporte. Assim a pressão do vaso é igual a pressão da linha de transporte medida por PI103. Quando a lança toca a altura de banho e aciona o limite de altura, o motor é ligado e a válvula rotativa começa a girar dosando a taxa de injeção. Durante este período de dessulfuração, o operador diminui manualmente o “set-point”, ou ajuste da malha de vazão de transporte, FIC105 de 500 p/ 300 Nm<sup>3</sup>/h.

Quando o peso injetado atinge o peso programado pelo operador, o motor é desligado e a válvula rotativa para de girar. O operador então sobe a lança e recoloca manualmente o “set-point” de vazão de transporte de 300 p/ 500 Nm<sup>3</sup>/h, liberando o carro torpedo em seguida. Neste instante, a pressão do vaso e da linha de injeção é aliviada para o silo através de FV-2 e FV-7, e o vaso pode ser então carregado novamente através da válvula BV-1.

Os flanges da válvula rotativa são retangulares, existindo então, uma transição de circular para retangular na base do vaso de injeção. No flange retangular de saída da válvula rotativa existe um injetor em forma de “Y” ou “T”, onde os sólidos são misturados e arrastados pela vazão de transporte até a lança de injeção mergulhada no gusa do carro torpedo.

#### 4 PROBLEMAS POTENCIAIS DO SISTEMA ORIGINAL

Os principais problemas do controle de injeção de agente dessulfurante em carros torpedo baseado em válvula rotativa são:

- a) Passagem de agente dessulfurante devido a falta de vedação e desgaste da válvula rotativa (vida útil de 2 a 8 meses);
- b) Interrupção imprecisa de injeção. O total injetado sempre ultrapassa o total programado, pois mesmo após a parada de injeção, ainda há o escoamento de agente dessulfurante pela válvula rotativa;
- c) Demora para atingir o pedido de taxa de injeção desejado no início da injeção. Elevado tempo de amortecimento da malha de controle de taxa de injeção;
- d) Elevada taxa de injeção de agente no início da dessulfuração causando "Splash", ou projeção de gusa através da boca do torpedo,
- e) Desvio percentual alto entre o dessulfurante comprado e consumido (injetado);
- f) Formação de vazios ou engaiolamentos na base do vaso de injeção, e no rotor da válvula rotativa, que por sua vez incrementava a rotação ao máximo. Quando o material desabava, ocorria o "Overshoot" com "Splash" e desperdício de material, além de perturbar a constância da cinética das reações

#### 5 MALHAS DE CONTROLE DO SISTEMA ORIGINAL

As duas malhas de controle do sistema original são descritas a seguir:

##### **Controle e Cálculo da Vazão de Agente Dessulfurante**

O cálculo da vazão de agente dessulfurante é baseado no decréscimo do peso do vaso de injeção no tempo. Este peso é obtido pelo balanço do vaso de injeção, WIT, em tempo real. A cada 5 s o peso atual é subtraído do peso anterior e colocado numa pilha de dados de 12 elementos. Esta pilha é do tipo "FILO", "First In Last Out", ou seja, o primeiro dado que entra na pilha é o último que sai. Isto descreve um histórico dos últimos 60 s de injeção. A média destes 12 elementos móveis, conhecida como média móvel, é usada como variável de processo, PV, do controlador de taxa de injeção, FIC107.

Pode-se notar que o atraso "capacitivo" de  $\cong 38$  s (63,2 % de 60 s) desta malha de controle reside no cálculo da taxa de injeção com o auxílio da média móvel. Na verdade, a curva de evolução do atraso é por rampa escalonada com passos de 5 s, onde a constante de tempo (atraso inicial) pode ser traduzida em pelo menos 40 s.

O operador pode selecionar um "set-point", SP, de injeção de agente dessulfurante normalmente de 30 a 60 kg/min de acordo com o teor de enxofre de chegada do carro torpedo. A variável manipulada, MV, do controlador FIC107 é usada para aumentar ou diminuir a frequência de acionamento do inversor do motor da válvula rotativa, conforme ilustrou a Figura 1.

##### **Controle da Vazão de Transporte**

A malha de controle de vazão de transporte, FIC105, proporciona o arraste de agente dessulfurante para o carro torpedo bem como refrigeração da lança. Uma falha neste controle pode ocasionar o entupimento da lança ou até a perda da mesma. A vazão de transporte provoca uma pressão negativa no injetor em relação ao vaso de Injeção, arrastando os sólidos do vaso para a lança de injeção.

## 6 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE PNEUMÁTICO DESENVOLVIDO

A Figura 2 ilustra o diagrama de processo e instrumentação aprimorado e implantado em setembro de 2005. A tela do supervisor é semelhante:

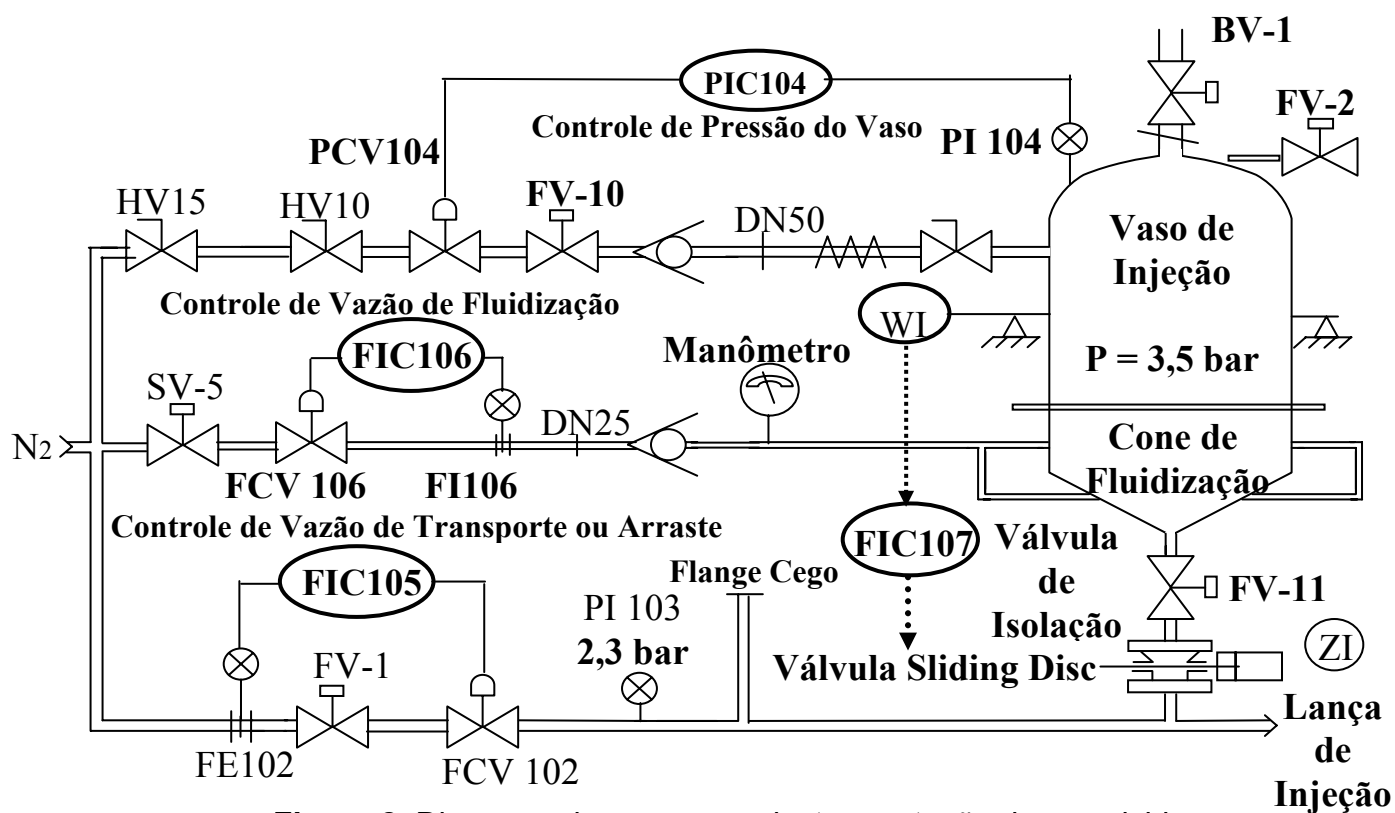


Figura 2. Diagrama de processo e instrumentação desenvolvido;

Foi implantado no supervisor, RSView32, para cada nova malha de controle, um “faceplate” do controlador. O “faceplate” possui campos de entrada para “set-point”, botões de comando manual e automático, além de “bargraphs” para simbolização de PV, SV, MV e FV (“Feedback Value” para o transdutor de posição).

### Controle de Pressão do Vaso de Injeção: PIC104

O controle de pressão no vaso é efetuado pela malha PIC104. O transmissor de pressão, PI104, foi instalado no topo do vaso e possui faixa de medição de 0 a 10 bar. Ele é do tipo selo diafragma faceando o flange acoplado. A válvula de controle de pressão de 1 polegada, PCV104, possui um posicionador pneumático perfazendo a malha de controle.

O “set-point” de pressão de injeção é constante e foi definido em 3,5 bar. Isto é ligeiramente maior que a pressão da linha, visando garantir a fluidez dos sólidos transportados pneumaticamente pela linha de arraste até a lança de injeção.

Em série com a linha temos uma válvula de retenção de 2 polegadas tipo dupla portinhola com mola, para evitar fluxo reverso de gases e invasão indesejável de pó para dentro da tubulação de pressurização do vaso de injeção.

A instalação do transmissor de pressão do vaso, PI104, permitiu também incluir e aprimorar o intertravamento de segurança da válvula de carregamento BV-1. Ela só abre caso a pressão seja menor do que 0,3 bar. Esta proteção contra sobrepessão evita que a junta de alimentação do vaso seja danificada.

O controle de pressão não funcionou de forma linear, pois o vaso praticamente não perde pressão com o passar da injeção. Assim, a válvula de controle de pressão só abre no início da etapa de pressurização, ou caso a pressão seja menor que o “set-point” durante a etapa de injeção. Portanto, o controle desempenhado pela válvula é do tipo “on-off” com valor de ganho alto para o controlador PID.

O peso do vaso de injeção é acrescido de 20 a 30 kg, aproximadamente, durante a pressurização com nitrogênio. Isto corresponde ao peso do volume de aproximadamente  $18,44 \text{ Nm}^3$  de  $\text{N}_2$ : ( $4,4 \text{ m}^3$  de  $\text{N}_2$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  pressurizado a 3,5 bar, sendo  $\delta\text{N}_2=1,2527 \text{ kg/Nm}^3$ ), ou seja, 23 kg. Este acréscimo de peso não cria ruídos na taxa de injeção cujo cálculo só começa a ser efetuado a partir da abertura da válvula de isolamento, o que só ocorre após a etapa de pressurização o vaso.

### **Cone de Fluidização e o Injetor**

A válvula rotativa e o injetor original foram retirados. A base do vaso de injeção teve sua transição de circular para retangular retirada. Para suprir esta transição e proporcionar uma fluidização na base, foi projetado um cone de fluidização e um novo injetor com transição circular ao invés de retangular.

A fluidização da base do vaso de injeção diminui a densidade dos sólidos misturados ao nitrogênio. Aliado a esta região de baixa densidade, está a vazão de arraste que provoca uma diferença de pressão negativa entre o vaso e o injetor. Isto faz fluir o agente dessulfurante de dentro do vaso para a lança de injeção, através da linha de transporte, conforme ilustra a Figura 3.

Na linha de controle de vazão de fluidização temos em série os seguintes equipamentos: a válvula de fechamento SV-5, o medidor Vortex FI106, a válvula de controle FCV106 e uma válvula de retenção para impedir ou pelo menos minimizar a entrada indesejável de pó na linha de fluidização.

Esta linha termina no anel de fluização. Este, por sua vez, tem por função equalizar as pressões de abastecimento das bases dos 6 copos de fluidização com uma pressão constante, medida pelo manômetro em 4,5 bar. Esta pressão tem que ser superior a pressão do vaso para garantir a vazão de fluidização para seu interior. Assim, a linha de fluidização foi alimentada por uma tubulação exclusiva de 1” com  $\text{N}_2$  de alta pressão, 7 bar, e o set-point de injeção foi definido em 3,5 bar. Os copos acomodam e envolvem os filtros de bronze sinterizado. Estes filtros são para impedir a entrada de pó na linha de fluidização. Os filtros alimentam o interior do vaso, efetuando a fluidização em sua base.

### **Válvula Automática de Isolamento do Vaso: FV-11**

A válvula de fechamento tipo esfera FV-11 localizada entre o cone de fluidização e a válvula “Sliding disc” garante o isolamento do vaso de injeção em relação a linha, carro torpedo e ao processo em geral. Esta função permite que o corte da injeção de agente dessulfurante ocorra com precisão, sem mesmo deixando escapar 1 kg do totalizado injetado além do pedido pelo operador. Esta é uma das vantagens do novo sistema, pois não há mais passagem de material além do pedido.

Esta válvula possui como intertravamento de segurança a diferença de pressão entre o vaso, PI104, e a linha, PI103. Este diferencial de pressão tem que ser maior que 0,8 bar para abrir e menor do que 0,5 bar para fechar. Desta maneira nunca haverá refluxo de gases para dentro do vaso, assegurando sua operação. Entre esta válvula e o cone de fluidização foi instalada uma válvula manual tipo borboleta para

propósitos de manutenção e contingência para esvaziamento do vaso, caso necessário.

O isolamento do vaso proporcionado por FV-11 permite que a válvula “Sliding disc” seja deixada aberta numa posição inicial conhecida para um bom resultado no controle. Após 30 segundos de injeção inicial, ou seja, após 30 segundos da abertura de FV-11, o controlador PID da taxa de injeção, FIC107, é passado de automaticamente de manual para automático iniciando seu controle. Neste instante o “set-point” do controlador de vazão de transporte, FIC105, é passado de 500 para 300 Nm<sup>3</sup>/h visando diminuir o “Splash” no carro torpedo e acelerando o acerto dos demais controladores PID do vaso de injeção, tal como descrito por Motta.<sup>(3,4)</sup>

A válvula de isolamento permite também que o carro torpedo seja liberado logo após a finalização do período de dessulfuração, pois o alívio da linha por FV-7 é imediato. Uma vez que a linha está aliviada, a lança pode ser erguida e o carro torpedo liberado para o ciclo do gusa com 2 minutos de antecipação. O vaso por sua vez pode ser aliviado vagarosamente por FV-2 sem atrasar o ciclo dos carros torpedo.

### **Controle de Vazão de Fluidização: FIC106**

O controle PID de vazão de fluidização é efetuado pela malha FIC106. O transmissor de vazão, FI106, do tipo “Vortex”, possui faixa de medição de 0 a 100 Nm<sup>3</sup>/h. A válvula de controle de vazão de 1 polegada, FCV106, possui um posicionador pneumático perfazendo a malha de controle. O “set-point” de operação é constante e foi definido inicialmente em 15 Nm<sup>3</sup>/h. Este valor garante a fluidização do cone e não interfere com o controle de pressão do vaso. Porém, o parâmetro “low-cut” do transmissor “Vortex” define uma vazão mínima em 11,6 Nm<sup>3</sup>/h, o que é muito próximo ao “set-point”, provocando apagamentos no sinal de vazão e por consequência, ruídos na malha de controle. Para eliminar tal efeito, foi incrementado o “damping”, ou filtro de amortecimento, do transmissor de 4 para 15 s. O “set-point” foi ligeiramente aumentado para 20 Nm<sup>3</sup>/h, distanciando do valor de “low-cut”.

O controlador foi projetado inicialmente para se manter uma vazão constante para os copos fluidizadores do cone do vaso de injeção afim de estabilizar a fluidez dos sólidos. Após sua implantação percebemos que na abertura de SV-5 a vazão era imensa e sem controle, perturbando a controlador da taxa de injeção e provocando um aumento indesejado na pressão do vaso e perturbações na taxa de injeção.

Este problema foi corrigido passando o controlador FIC106 de manual para automático de acordo com a abertura de FV-11. Assim, quando a injeção termina, a válvula FV-11 é fechada, o controlador FIC106 passa de automático para manual automaticamente preservando sua última posição de controle. Isto evita o surto em excesso de fluidização no início da injeção, contribuindo para a diminuição do “Overshoot”, e o tempo de amortecimento do principal controlador PID do processo, o controlador de taxa de injeção, FIC107. Quando FV-11 abre no início da injeção, o controlador FIC106 é automaticamente passado de manual para automático, garantindo uma vazão constante e estável para o cone de fluidização. Porém, Para diminuir o tempo de pressurização do vaso, SV-5 passou abrir junto com FV-11, com o controlador FIC106 em manual e MV=100%. Isto diminui o tempo de pressurização de 2min 20 s para 1 minutos. Quando a pressão de injeção é alcançada, o controlador é colocado em manual com MV=20 %, ou seja, perto da posição final de controle e SV-5 é fechada. Quando o período de injeção se inicia, o controlador é passado para automático novamente..

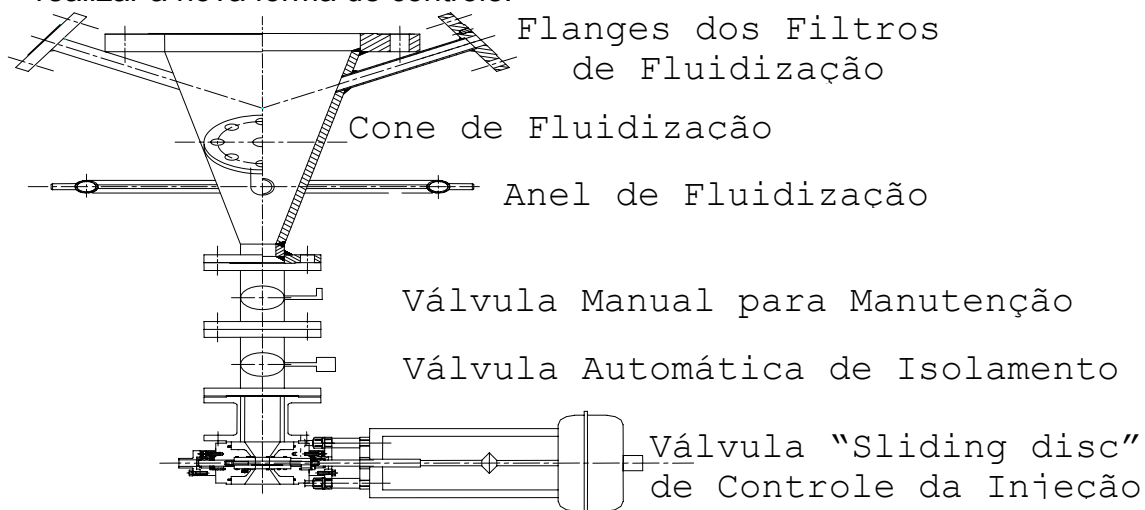
Em outros sistemas de injeção de agente dessulfurante, tal como o da CST, o controle de fluidização do cone é por pressão ao invés de vazão. Neste caso, a pressão de fluidização é ajustada num valor ligeiramente maior do que a pressão de injeção do vaso. Isso garante que sempre haverá fluxo para o interior do vaso. Porém, caso haja uma variação de pressão no vaso, a vazão de fluidização se altera influenciando a taxa de injeção. O manômetro colocado no anel de fluidização registra 4,5 bar para uma vazão de 20 Nm<sup>3</sup>/h e pressão de injeção de 3,5 bar.

### Válvula Especial de Controle da Vazão de Agente Dessulfurante

Foi especificada e escolhida um válvula especial com as seguintes características:

- a) Revestimento interno de cerâmica para garantir um tempo de vida extenso;
- b) Acionamento pneumático visando economia de energia elétrica, rapidez e precisão no controle final;
- c) Transmissor de posição de retorno “Feedback” para monitorar o funcionamento da válvula via PLC, controlador lógico programável do processo da Allen Bradley®;
- d) Características construtivas adequadas para precisão no controle de vazão de sólidos: a área circular do orifício de controle é delimitada por um disco cerâmico.

A Figura 3 a seguir ilustra a montagem realizada na base do vaso de injeção para realizar a nova forma de controle:



**Figura 3.** Montagem dos equipamentos na base do vaso de injeção

A válvula escolhida junto ao fornecedor “CERA System®” possui 2 polegadas de diâmetro de flanges e 1 polegada de orifício interno de controle(DN50/DN25/DN50), disco de cerâmica tipo guilhotina para controle, revestimento interno todo em cerâmica, posicionador pneumático inteligente com filtros, manômetros e transmissor de posição de retorno.

A saída máxima do controlador de injeção,  $MV_{máx}$ , foi limitada em 60% para evitar entupimento da linha de injeção, visto que seu sinal de controle situa-se em torno de 30%. Da mesma maneira, para evitar ausência total de pó na linha, e limitar o total fechamento da válvula, a  $MV_{mín}$  foi definida em 15%.

Além disto, foi incorporado uma faixa morta de controle, “Dead Band”, de  $\pm 1$  kg/min correspondente ao valor máximo de erro no qual o controlador mantém sua saída paralisada, ou MV constante. A faixa morta funciona como um filtro para os ruídos da média móvel, desprezando variações (erros) insignificantes ao processo. Isto conduz a uma maior estabilidade da taxa de injeção proporcionando uma reação mais constante de dessulfuração no carro torpedo, independente do pequeno erro.



## 7 CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DOS DOIS SISTEMAS DE CONTROLE

O processo de dessulfuração por bateladas do carro torpedo pode ser ilustrado pela Figura 4:

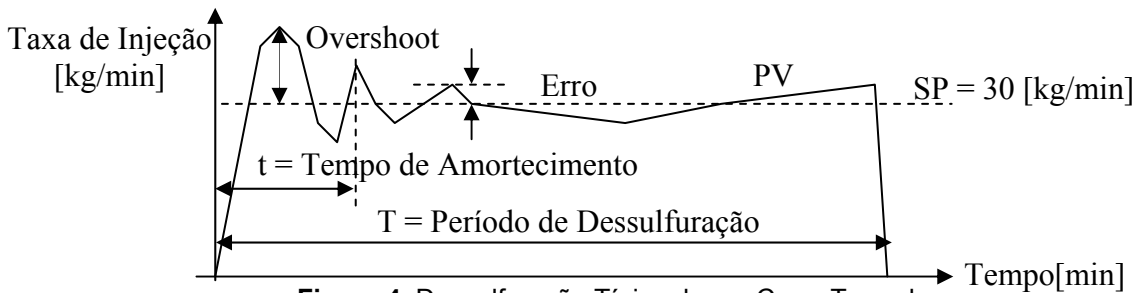


Figura 4. Dessulfuração Típica de um Carro Torpedo

Na Figura 4 pode-se ver o valor ajustado para a taxa de injeção, “set-point”, SP, e a taxa de injeção real, PV, durante o período de dessulfuração do torpedo. Quanto menor o erro, diferença entre o SP e a PV do controlador, melhor será a dessulfuração. Idealmente, o valor do erro é zero, ou seja, SP=PV todo o tempo.

Para uma comparação imparcial do desempenho dos dois sistemas de transporte pneumático, rotativa versus “Sliding disc”, foi implementado um algoritmo de cálculo do IAE – Integral do Erro Absoluto, parâmetro usado para medir o desempenho de controle de processos, tal como citado por Valdeman.<sup>(6)</sup> A fórmula (1) a seguir, ilustra o cálculo da área do erro absoluto, IAE, para processos contínuos:

$$IAE = \int |(SP - PV)| dt [kg] \quad (1)$$

Entretanto, uma vez que o processo é por bateladas, a integral tem que ser definida durante o período de dessulfuração do torpedo. Isto é feito para se ter um número que relacione todos os erros do controlador de taxa de injeção ao longo do intervalo de dessulfuração que pode ser variável, de acordo com o teor de enxofre do ferro gusa a ser dessulfurado. A fórmula (2) ilustra o critério de avaliação baseado em IAE e no tempo de dessulfuração, T, do processo em bateladas da EDG da CSN:

$$IAE = \frac{1}{T} \int_0^T |(SP - PV)| dt [kg / min] \quad (2)$$

Este número, IAE, foi inserido na planilha de resultados de dessulfuração para acompanhamento diário dos resultados. Isto visa buscar os melhores parâmetros de controle através de uma histórico estatístico, bem como comparar o controle do transporte pneumático efetuado pela válvula rotativa com o efetuado pela válvula “Sliding disc”. Os valores típicos obtidos ao longo da experiência de 3 meses são mostrados na Tabela 1:

Tabela 1. Valores de IAE para a EDG da CSN

Resultado	Rotativa	“Sliding Disc”
Faixa do IAE médio	De 40 a 50	De 30 a 40
IAE médio	44 kg/min	35 kg/min

## 8 COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE TRANSPORTE PNEUMÁTICO

A Tabela 2 ilustra uma comparação mais ampla das principais diferenças características, vantagens e desvantagens e entre os dois sistemas:

**Tabela 2.** Quadro comparativo Válvula Rotativa x Válvula “Sliding disc”

Item	Sistema de Transporte Pneumático	
1 – Projeto	Nippon Steel Confab	CSN
2 – Data	1981	2005
3 – Capacidade de Injeção	20 a 100 kg/min	20 a 100 kg/min
4 – Número de Malhas de Controle	2	4
5 – Válvula de Controle de Injeção	Rotativa	“Sliding Disc”
6 – Consumo de Energia Elétrica	3,6 kwatts	0 kwatts
7 – Tempo de Vida médio da Válvula	6 meses	5 anos*(Nota1)
8 – Sobrepasso inicial ou “Overshoot”	150%	65%
9 – Tempo de amortecimento	6 minutos	3 minutos
10 – Desvio Padrão de Injeção	$\pm 5$ kg/min	$\pm 3$ kg/min
11 – Consumo específico de CaCO <sub>2</sub>	2,99 kg/Tongusa	2,92 kg/Tongusa
12 – Eficiência de Dessulfuração - K	0,3063	0,3100
13 – Pressão de Injeção	2,8 kgf/cm <sup>2</sup>	3,5 Bar
14 – Pressão de Transporte	2,8 kgf/cm <sup>2</sup>	2,3 Bar
15 – Vazão de transporte	300 Nm <sup>3</sup> /h	300 Nm <sup>3</sup> /h
16 – Relação $\mu =$ kg Sólido / kg Gás	5 a 10	5 a 10
17 – Tempo de Pressurização	1 minuto	1 minuto
18 – Tempo de Alívio da Linha	2 minutos	10 segundos
19 – IAE médio	44 kg/min	35 kg/min

\*Nota 1: Informação do fabricante baseado em experiência de plantas similares;

## 9 INTERFERÊNCIAS NO PROCESSO E IMPLANTAÇÃO DE FILTROS PARA ELIMINAÇÃO DE RUÍDOS

A principal interferência foi gerada na balança após a pressurização do vaso de injeção. Durante a injeção de agente dessulfurante, o valor da balança subitamente aumentava em cerca de 200 kg, e o valor totalizado injetado se tornava negativo. Além disto, esta interferência causa oscilação na taxa de injeção que é calculada pela média móvel do decréscimo do peso do vaso no tempo.

As causas fundamentais deste descontrole são principalmente:

- A) Aumento do peso proporcional a introdução do volume de nitrogênio de pressurização;
- B) Interferências mecânicas;
- C) Ruídos elétricos nas células de carga;
- D) Variação brusca e incoerente do sinal de peso da balança.

As interferências mecânicas detectadas foram o suporte do atuador da válvula “Sliding Disc” que apoiava o vaso de injeção contra o solo, e um dos 4 tirantes de regulagem de equilíbrio do vaso que estava tensionado.

Os ruídos elétricos das células de carga foram eliminados com o auxílio de capacitores eletrolíticos e de cerâmica introduzidos em paralelo com a alimentação e sinal da ponte de “Wheatstone” das células de carga.

O primeiro filtro de “software “ foi introduzido no transmissor de peso das células de carga. Dentre seus parâmetros, está o tamanho da pilha de dados da média móvel no valor de 64 unidades de memória, que reproduzem os últimos 3 s do peso real da balança. O tamanho da pilha foi aumentado para 128 unidades de memória, reproduzindo os últimos 6 s, e visando eliminar picos no valor do peso da balança.

No “Software” do PLC foi introduzido um segundo filtro após o cálculo da taxa de injeção, visando limitar este sinal dentro de uma janela coerente de 0,7 a 1,3 vezes o valor de “set-point” de injeção introduzido antes da média móvel. Isto ameniza a variação instantânea da taxa de injeção provocada pela variação incoerente estabilizando o controlador FIC107 e a posição da válvula “Sliding Disc”.

O Terceiro filtro de “Software” foi introduzido para que o sinal totalizado injetado nunca seja negativo. Caso o cálculo do totalizador de injeção seja menor que zero devido a outras causas, o valor é forçado a zero.

## **10 CONCLUSÕES**

Dentre as vantagens do novo sistema, estão principalmente as reduções dos custos com energia elétrica e manutenção decorrentes da desativação de partes mecânicas móveis (Corrente, coroa, pinhão, redutora, motor, inversor, etc...). Além disto, o tempo de vida da válvula de controle de injeção foi multiplicado por 10.

O novo sistema de controle e transporte pneumático com a válvula “Sliding disc” mostrou-se mais rápido, eficiente e preciso do que o baseado na velocidade de rotação da válvula rotativa. O erro absoluto do controlador de taxa de injeção, IAE, provou que o sistema de controle pela válvula “Sliding disc” é em média 25 % (44/35) melhor do que o controle da válvula rotativa.

Outra vantagem da válvula “Sliding disc” sobre a válvula rotativa em termos de controle está na redução do sobrepasso inicial da taxa de injeção inicial de 150 para 65 % possibilitou redução no tempo de amortecimento da malha, atingindo o pedido final de taxa de injeção na metade do controle anterior.

As melhorias efetuadas no controle, principalmente com a implantação da válvula de isolamento FV-11, proporcionaram um menor consumo específico de agente dessulfurante, que diminuiu de 2,99 para 2,92 kg/tongusa, ou seja, 0,07 kg/tongusa em média. Como consequência, o fator K, que mede a eficiência de dessulfuração, subiu de 0,3063 para 0,3100 em média.

O tempo de alívio da linha de injeção proporcionou que o tempo de ciclo dos carros torpedo fosse reduzido em 2 minutos. Durante todo o dia, circulam cerca de 60 torpedos nas estações A e B, totalizando um ganho de 120 minutos no ciclo diário de tempo dos carros torpedo da CSN.

Os ganhos anuais foram totalizados em aproximadamente R\$ 1,2 milhões por estação , garantido o retorno rápido do investimento, em vista do risco passado em sua implementação.

## REFERÊNCIAS

- 1 Takano, C.; Termodinâmica e cinética no processo de dessulfuração de ferro e aço - Conferência Técnica Internacional de Dessulfuração e Controle de Inclusões –ABM - 15 e 16 de Outubro de 1997 – Santos – SP;
- 2 Dionísio Ribeiro da Silva; Transporte Pneumático: Tecnologia - 1ª Edição; Artliber Editora Ltda. – Tel.(11) 3832-5223 Agosto de 2005 – São Paulo – SP;
- 3 Motta, R.S.N.; Zanetti, C.H., Baldini R.F.; Mendes A. R.; Expansão da Capacidade Nominal de Injeção da Planta PCI da CSN de 40 para 50 Ton/h; XXII Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades da ABM; 28, 29 e 30 de Junho de 2000 – João Monlevade – MG;
- 4 Motta, R.S.N.; Zanetti, C.H., Baldini R.F.; Gonçalves G. O.; Desenvolvimento do Sistema de Injeção de Carvão Pulverizado da CSN ; VII Seminário de Automação de Processos Industriais da ABM; 15 e 16 de Outubro de 2003 – Santos – SP;
- 5 Assis, P.S.; Injeção de Materiais Pulverizados em Altos Fornos / Brasil ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Metais - Outubro de 1993;
- 6 Valdman, B.; Dinâmica e Controle de Processos - 1ª Edição; Escola de Química - UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro Abril de 1992 – Rio de Janeiro – RJ.