

# ANÁLISE E ESPECIFICAÇÃO DOS DETECTORES DE FLUXO DE CARVÃO PULVERIZADO USADOS NAS SIDERÚRGICAS BRASILEIRAS<sup>1</sup>

Ricardo Sebastião Nadur Motta<sup>2</sup>  
Edson da Costa Bortoni<sup>3</sup>  
Luíz Edival de Souza<sup>4</sup>  
Priscylla Angélica da Silva Oliveira<sup>5</sup>

## Resumo

Os detectores monitoram o fluxo de carvão nas lanças de injeção, podendo sinalizar a sua falta ou o entupimento da lança, efetuando sua purga automática com nitrogênio de alta pressão. Estes detectores têm que resistir a temperaturas ambientes entre os algaravizes, que estão na ordem de 60°C e pressões de injeção de até 20 Bar e possuir uma rápida resposta à falta de fluxo de carvão, para que não acumule carvão na ponta da lança. Os estudos dos princípios de funcionamento dos detectores conhecidos, bem como suas características técnicas básicas e testes preliminares realizados no Alto-Forno#3 e no PCI da CSN, foram importantes para a especificação e verificação de desempenho dos detectores disponíveis no mercado. Estudaram-se os instrumentos de detecção usados em outras siderurgias, bem como alguns mais modernos disponíveis no mercado mundial. Os resultados dos estudos práticos realizados com diversos detectores possibilitaram a definição e especificação dos projetos mecânicos, elétricos e automação para a “Lança Dupla de Carvão Pulverizado dos Altos-Fornos da CSN”. Contemplou-se a segurança do sistema com um detector moderno, compacto e rápido, sem riscos elétricos, e com eletrônica longe da zona de risco e alta temperatura. Seu desempenho e índice de manutenção consagraram sua escolha.

**Palavras-chave:** Detectores; Fluxo de sólidos; Carvão pulverizado; Alto-forno.

## ANALYSIS AND SPECIFICATION OF THE PULVERIZED COAL FLOW DETECTORS USED IN THE BRAZILIAN BLAST FURNACES

### Abstract

Flow detectors monitor the coal flow in the injection lances, and they can signalize the lack or the lance blockage, making its automatic purge using high pressure nitrogen. These detectors have to resist to ambient temperatures among the blow pipes, which are in the order of 60°C and coal injection pressures of up to 20 Bar and the detectors have to get a fast response indicating lack of coal flow, so that it does not accumulate coal in the tip of the lance. The studies concerning the operation principles of known detectors, as well as their basic technical characteristics and preliminary tests accomplished at CSN Blast-Furnace #3 and PCI were important for the specification and performance examination of the detectors available in the market. The detection instruments used at other steel plants were studied, as well as some more modern ones available in the world market. The outcomes of practical studies accomplished with several detectors made possible the definition and specification of mechanical, electric and automation designs for “CSN Blast-Furnaces Pulverized Coal Double Lance”. The safety was contemplated with a compact, fast, and modern detector, free of electric risks, and with electronics distant from the risk zone and high temperature. Its performance and maintenance index consecrated its choice.

**Key Words:** Detectors; Solids flow; Pulverized coal; Blast furnace.

<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> Doutorando em Controle de Processos pela Unifei e Engenheiro de Desenvolvimento Sênior da CSN. nadur@csn.com.br;

<sup>3</sup> Professor Titular da Unifei. bortoni@unifei.edu.br;

<sup>4</sup> Professor Titular da Unifei. edival@unifei.edu.br;

<sup>5</sup> Estudante de Engenharia Elétrica da Unifoa e Estagiária de Engenharia Elétrica na CSN. priscylla.angelica@gmail.com

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem o objetivo de analisar e estudar as características técnicas e os princípios de funcionamento de uma classe especial de equipamentos de instrumentação dedicados à detecção de fluxo de sólidos conduzidos por transporte pneumático, tal como aplicado no trabalho de monografia de fim de curso.<sup>(1)</sup>

Dentre suas mais nobres aplicações, segundo Lipták<sup>(2)</sup> está à detecção na injeção de carvão pulverizado nos altos-fornos, PCI. A injeção de carvão pulverizado nos altos-fornos da CSN foi projetada pela Claudius Peters, e é realizada por dois vasos de injeção que trabalham alternadamente. Enquanto um vaso está injetando, o outro está se preparando nas fases de alívio, carregamento, espera despressurizado, pressurização com nitrogênio de baixa e em seguida com o de alta pressão. Após serem pressurizados, eles injetam o carvão pulverizado por uma tubulação principal até o distribuidor, que por sua vez conduz o carvão para as lanças de injeção em cada uma das ventaneiras dos altos-fornos 2 e 3.

O dispositivo de detecção de fluxo de sólidos ou sensores de fluxo é utilizado para monitorar o fluxo de carvão pulverizado nas lanças de injeção como usado por Johansson e Medvedev.<sup>(3)</sup> Estes dispositivos podem acionar automaticamente o nitrogênio para purga em caso de entupimento da lança de carvão. Normalmente qualquer sistema de injeção de carvão utiliza estes dispositivos para alarmes, intertravamentos e verificação de fluxo de sólidos.

A lança dupla de injeção de carvão pulverizado<sup>(1)</sup> tem por objetivo dividir o fluxo de carvão melhorando o contato com as moléculas de oxigênio do sopro de ar quente do alto-forno. Isto proporciona uma maior combustibilidade do carvão pulverizado no *Race-way*, reduzindo assim a quantidade de coque carregado pelo topo do forno. O carvão injetado substitui o coque carregado pelo topo do forno, o que traz grandes economias e versatilidade operacional para os altos-fornos. Este estudo fornece subsídios para a definição do detector (sensor) de fluxo de carvão para o projeto da lança dupla de injeção e para qualquer outro sistema de transporte pneumático de sólidos baseado em Yan.<sup>(4)</sup>

## 2 DETECTORES DE FLUXO DE CARVÃO

O detector de fluxo de sólidos deverá indicar o fluxo dos materiais que se movem a uma velocidade mínima necessária de 0,1 m/s. Este fluxo de materiais sólidos pode ser detectado em tubos metálicos ou não-metálicos.

O sensor distingue entre duas condições:

- falta de fluxo de materiais sólidos (somente a passagem de gás de transporte); e
- obstrução do material ou entupimento do tubo.

Os detectores de fluxo de sólidos têm a função de monitorar o fluxo de carvão pulverizado em cada lança como aplicado em Johansson e Medvedev.<sup>(3)</sup> Eles possibilitam:

- monitorar a falta de fluxo de carvão devido a entupimento ou fluxo somente de nitrogênio; e
- ativar a purga automaticamente injetando nitrogênio de alta pressão e fechar a válvula de carvão, caso sua lança esteja entupida.

### 3 PRINCÍPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMENTO DOS DETECTORES

A seguir tem-se uma explicação breve do princípio de funcionamento de cada tipo de detector de fluxo de carvão, estudado para a instalação nas lanças duplas de carvão pulverizado.

A detecção do carvão pulverizado pode ocorrer a partir de alguns dos seguintes métodos, de acordo com os detectores estudados. Yan<sup>(4)</sup> e Bortoni e Souza<sup>(5)</sup> descrevem com maiores detalhes outros detectores de sólidos que não os 3 tipos básicos aqui estudados.

#### 3.1 Método Doppler

Quando a energia eletromagnética de uma fonte ( $f_t$ ) é transmitida com uma vazão de gás-sólido fase densa, alguma energia ( $f_r$ ) será refletida através das partículas sólidas para um detector de entrada. Conforme o princípio do efeito Doppler, a diferença de frequência entre os sinais recebidos e transmitidos é diretamente proporcional à velocidade dos sólidos ( $V_s$ ), tal como ilustra a Equação (1).

$$f_r - f_t = \frac{2V_s f_t \cos \theta}{c} \quad (1)$$

Onde:

$c$  é a velocidade da energia eletromagnética no meio de propagação;

$\theta$  é o ângulo de inspeção da energia transmitida para a vazão.

Note que se  $V_s=0$ ,  $f_r = f_t$ , podendo significar dois eventos:

- A - ou a linha está toda bloqueada de carvão (entupida); e
- B - ou não há fluxo de sólido e só há fluxo de  $N_2$  do transporte pneumático.

O detector de sólidos por efeito Doppler pode ser do tipo monostático. As Figuras 1A e 1B a seguir ilustram o sensoriamento monostático, onde transmissor/receptor injeta os sinais de microondas via janelas 'transparentes'. Estas janelas podem ser de vidro, teflon, cerâmica, enfim um material que não seja condutivo, pois caso contrário, o sinal de microondas não irá atravessá-la e, portanto detectar corretamente o fluxo de sólidos.

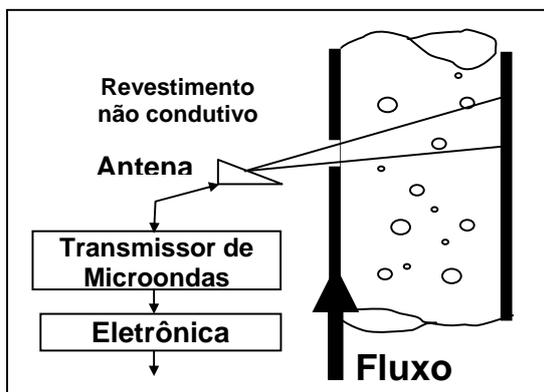


Figura 1. (A) Detector monostático; e (B) Granulflow no distribuidor.

Este método de detecção é utilizado nos detectores a serem estudados: *Granuflo*,<sup>(6)</sup> *Flowjam*<sup>(7)</sup> e *Solidflow*.<sup>(8)</sup> Vários outros artigos técnicos<sup>(4)</sup> e livros<sup>(1,5)</sup> que já abordaram a utilização destes dispositivos especiais para fluxo de carvão pulverizado e sistemas de transporte pneumático de sólidos em geral.

### 3.2 Métodos Térmicos

Este método de detecção é utilizado no detector denominado *Termoflow*, que possui dois sensores de temperatura tipo PT-100 localizados nas superfícies internas com um transmissor de sinal tipo pastilha a 2 fios no cabeçote. Ele indicará a passagem ou não de material pela temperatura baixa da superfície da tubulação abraçada. Essa técnica utiliza a medição de temperatura na carcaça da tubulação pneumática, uma vez que o carvão transportado é mais quente (~60°C) que o nitrogênio de transporte (~20°C). Caso haja uma variação negativa significativa da temperatura no tempo, haverá detecção.

As principais características do *Termoflow* são:

- detecção do fluxo de material pela medição de temperatura;
- sensor de fabricação nacional (Consistec-SP); e
- necessidade de entrada analógica 4 a 20 mA.

A Figura 2 ilustra os detalhes construtivos do detector de vazão de carvão baseado na temperatura da linha de injeção:

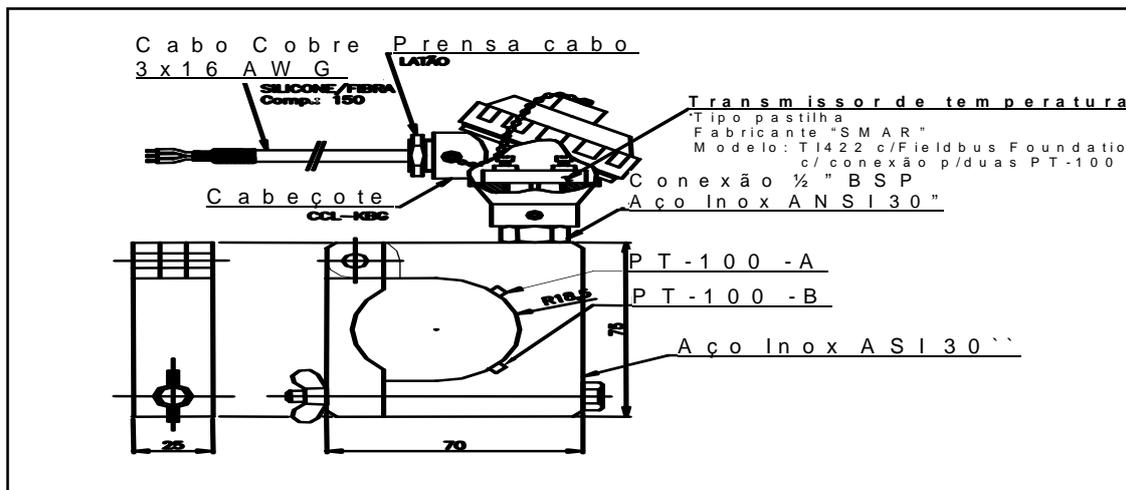


Figura 2. Detector de fluxo de carvão por temperatura: *Termoflow*.

Foram adquiridas e testadas duas unidades nas lanças. O dispositivo foi testado e reprovado para a aplicação de detecção de carvão devido ao tempo de resposta lento, da ordem de minutos, ao passo que todos os outros sensores têm tempo de resposta da ordem de alguns segundos. Outra desvantagem é a necessidade de cartões de entrada analógica para trabalhar o sinal do detector ao invés de uma simples entrada digital como nos demais detectores estudados. Este detector é usado no PCI da Cosipa.

### 3.3 Métodos Eletrodinâmicos

Na descrição dessa tecnologia de sensoriamento o termo *eletrodinâmico* é sinônimo de outras palavras conhecidas como *triboeletricidade* ou *eletrostática*. As partículas em tubulações pneumáticas carregam certa quantidade de carga eletrostática líquida devido a colisões entre si, impacto entre partículas e parede da tubulação, e fricção entre partículas e a corrente de gás.

A carga nas partículas pode ser detectada por meio de um eletrodo blindado e isolado, onde ocorre a medição da eletricidade estática gerada em dois eletrodos internos na tubulação. O circuito eletrônico possui um comparador onde analisa a tensão gerada entre a carcaça da tubulação e os eletrodos pela passagem do fluxo de carvão.

As principais características do *Block* são:

- detecção de material através da eletricidade estática;
- sensor de fabricação original da *Kuttner*; e
- baixo custo de fabricação, porém elevada manutenção.

A Figura 3 mostra o esquema de funcionamento do *Block* em corte transversal do sensor eletrostático. A tensão estática gerada nos eletrodos do tipo anel é função da colisão de partículas nas paredes dos pólos do sensor gerada  $e(t)$  é analisada pela unidade eletrônica. Este detector é usado no PCI da Usiminas.

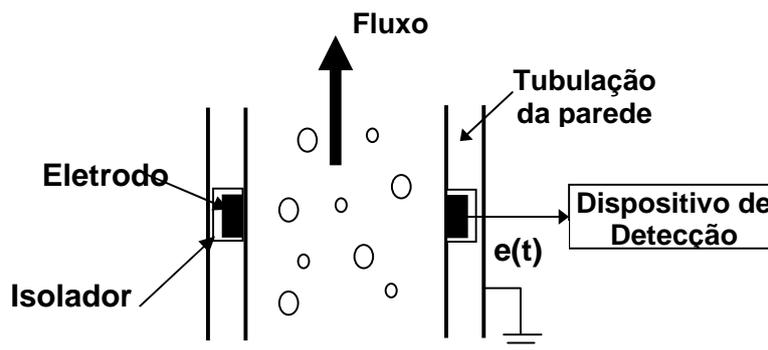


Figura 3. Sensor eletrodinâmico tipo anel: *Block*.

Sua principal desvantagem é o acúmulo de carvão na superfície dos eletrodos de detecção da tensão estática gerada, podendo ter a amplitude da tensão gerada modificada com o passar do tempo, o que requer limpezas periódicas.

## 4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS DETECTORES ESTUDADOS

### 4.1 *Granuflow*

O *Granuflow* (Figura 1B), é um dispositivo de detecção de fluxo de sólidos desenvolvido e comercializado inicialmente na década de 1990 pela empresa Endress + Hauser. Esta passou a licença de projeto para o fabricante Thermo-Ramsey.

As suas principais características são:

- dispositivo não-intrusivo;
- precisa de interface não-condutiva;
- só monitora materiais não metálicos;
- modelo à prova de explosão e não a prova de explosão; e
- efeito Doppler na faixa de microondas.

O *Granuflow*<sup>(6)</sup> apesar de ser um equipamento consagrado, não é indicado para novos projetos, tais como o da lança dupla devido à obsolescência eletrônica (15 anos de projeto), a alimentação de 110 Vca, o que pode propiciar choques elétricos e explosões. Além disto, possui elevado tamanho físico e características ambientais máximas (60°C) inadequadas para uso entre os algaravizes de um alto-forno. O *Granuflow* é utilizado nos distribuidores de carvão pulverizado dos Altos-fornos 2 e 3 da CSN, bem como na CST e na usina da Arcelor Mittal em João Monlevade - MG.

## 4.2 *Flowjam*

A seguir tem-se a análise de dois modelos de detectores *Flowjam*,<sup>(7)</sup> do fabricante SWR Engineering que são o *Flowjam I* e *Flowjam S*. A SWR é uma empresa derivada da Endress-hauser. As suas principais características em comum são:

- ajuste fino de sensibilidade;
- ajuste de tempo de atraso de atuação da passagem de fluxo do material;
- sem contato e não invasivo; e
- sem partes móveis, significando sem falhas mecânicas.

### 4.2.1 *Flowjam* modelo I

As principais características do *Flowjam I* são:

- conversor de sinal e fonte de alimentação interna;
- temperatura máxima de operação 60°C;
- pressão máxima de 1 bar; e
- tensão de alimentação de 110 Vca.

A Açominas usa o *Flowjam I* no distribuidor. Não usam dispositivo de detecção de fluxo de carvão na lança dupla. Em relação ao *Granuflow*, o *Flowjam* modelo I é mais leve e compacto (Figura 4A).

### 4.2.2 *Flowjam* modelo S

As principais características do *Flowjam* modelo S<sup>(7)</sup> são:

- tensão de alimentação baixa 24 Vcc;
- temperatura máxima de processo 220°C;
- pressão máxima de processo 20 bar; e
- somente 3 fios são conectados.

A principal diferença entre o *Flowjam S* e o *Flowjam I* é que a eletrônica do conversor de sinal foi separado levando o dispositivo a suportar piores condições ambientais e alimentação foi reduzida de 110 Vca para 24 Vcc, atendendo a norma NBR 13, ou seja, sem risco de choque elétrico para a manutenção e aumentando a segurança do processo. O *Flowjam S* também é mais leve e compacto do que o *Flowjam I*.

O detector de carvão *Flowjam S* foi aprovado, sendo adquirido 6 unidades iniciais para testes. Eles foram instalados na linha principal de injeção de 3½" de injeção do AF#2 e nas bifurcações em "Y" dos protótipos de lança dupla do AF#3.

O *Flowjam S* pode ser adaptado a condições extremas de processo, como altas temperaturas e pressões, ele trabalhando em conjunto com o adaptador de processo permite pressões de processo de até 20 kgf/cm<sup>2</sup> e temperaturas de até 220°C, sendo aprovado para a lança dupla de carvão (Figura 4B).

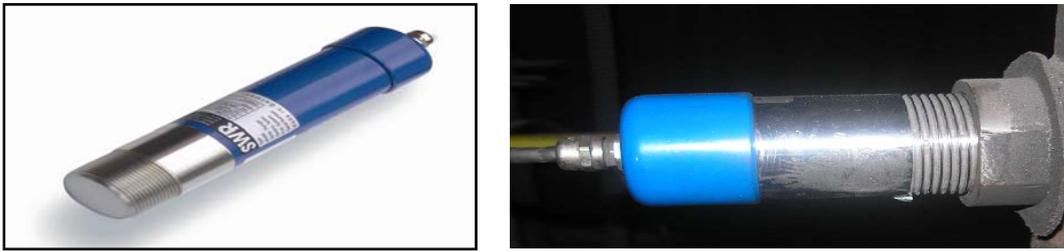


Figura 4. (A) Flowjam modelo I; e (B) Flowjam modelo S.

### 4.3 Solidflow

As principais características do detector de carvão *Solidflow*<sup>(8)</sup> são:

- confiável para o monitoramento do fluxo de sólidos em tubulações á vácuo, dutos, ar de escoamento, e em pontos de transferência vibratória de escoamento, correias transportadora e transportador de caneco;
- sem contato e não invasivo;
- sem partes móveis, significando sem falhas mecânicas; e
- alimentação de 110 Vca.

A Figura 5 ilustra o *Solidflow* modelo MWS-DP-2.



Figura 5. *Solidflow* modelo MWS-DP-2.

Este equipamento foi aprovado para substituir o *Granuflow*, por se tratar de um equipamento com as mesmas características elétricas, porém com projeto mais moderno. Atualmente encontra-se em uso na lança 9 (Figura 6A) do AF#3 com ótimos resultados de tempo de resposta tão bons quanto ao do *Granuflow*, além do menor índice de manutenção, pois não é necessário limpar as lentes tal como no caso do *Granuflow* DTR131Z. Entretanto o equipamento não nos atendeu para o projeto da lança dupla de carvão pulverizado, devido principalmente ao peso, sinais elétricos de 110 Vca (risco de choque elétrico) e elevado custo, quando comparado aos sensores que não necessitam de cerâmica interna. Sendo assim, o detector de fluxo *Solidflow* foi descartado para a aplicação em lança dupla.

As Figuras 6A e 6B ilustram os detalhes construtivos do *Solidflow* usado na linha 9 de carvão desenvolvido visando substituir o “Y” (janela de inspeção) do *Granuflow*.

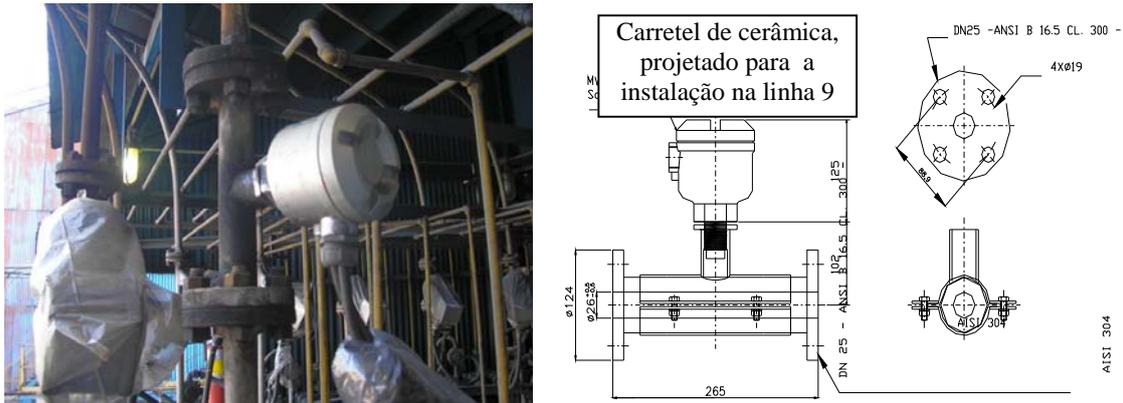


Figura 6. (A) Solidflow na linha 9; e (B) Projeto especial do AF#3.

## 5 ESCOLHA DO DETECTOR

A Tabela 1 mostra uma comparação entre os detectores de fluxo de carvão analisados para a implantação da lança dupla de carvão pulverizado na CSN.

Tabela 1. Comparativa entre os detectores de fluxo de carvão analisados

Detectores de Carvão	Fabricante (Origem)	Temp. Máx. (°C)	Alimentação Elétrica	Nº de Fios	Preço (R\$) 2007
Solidflow	Wadeco (Japonesa)	60	110 Vca	4	3.213
GranufLOW	Ramsey (Americana)	60	110 Vca	4	3.502
Flowjam I	SWR engineering (Alemã)	60	110 Vca	4	2.257
	C/ adaptador	SWR	<del>24 Vca/cc</del>	<del>2</del>	2.453
Flowjam S	S/ adaptador	(Alemã)	100		2.257
Termoflow	Consistec (Brasileira)	100	24 Vcc	2	2.000
Block	Kuttner (Brasileira)	60	24 Vcc	4	3.000

A Tabela 2 indica onde cada detector é aplicado em sua respectiva usina. Além disto, mostra seu local de teste no PCI da CSN.

**Tabela 2.** Aplicação dos detectores em suas usinas e o teste do *Flowjam S* na CSN

				Local de Aplicação	
Detector	Teste CSN	Usinas Siderúrgicas	Alto Forno	Distribuidor	Lança Dupla
<b>Termoflow</b>	Lanças	Cosipa	1	Sim	S/proteção
<b>Flowjam I</b>	Não	Gerdau Açominas	1	Sim	S/proteção
<b>Flowjam S</b>	Lanças	CSN	3	Não	Sim
<b>Solidflow</b>	Distribuidor	CSN	3	Sim	Não
<b>GranufLOW DTR131Z</b>	Distribuidor	CSN	2 e 3	Sim	Não
<b>GranufLOW DTR131Z</b>	Distribuidor	Arcelor Mittal Monlevade	1	Sim	Sim
<b>GranufLOW DTR131Z</b>	Distribuidor	CST	1, 2 e 3	Sim	Sim
<b>Block</b>	Não	Usiminas	3	Sim	Sim

De acordo com as características, vantagens, desvantagens e os princípios de funcionamento dos detectores estudados, foi consenso utilizar o moderno detector de carvão pulverizado *Flowjam S*.

As principais razões para a escolha deste novo dispositivo foram: Suporta temperaturas altas com o adaptador (220°C), com pressões de até 20 Bar, as facilidades de manutenção, sendo que somente 2 fios são necessários para sua conexão, a parte da eletrônica está separada do sensor, permitindo maior robustez (conversor de sinal longe do sensor de campo). Além disto, é o detector de projeto mais moderno a nível mundial.

A alimentação de 24 Vcc ao invés de 115 Vca elimina a condição de choque elétrico, proporciona maior estabilidade funcional para os circuitos eletrônicos, e reduz o risco de explosão e a geração de arco-voltaico em caso de curto-circuito.

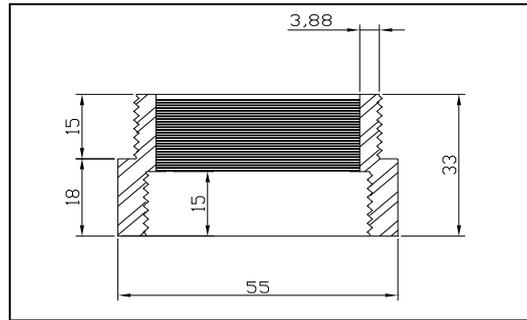
Estas vantagens fizeram com que o *Flowjam S* fosse o dispositivo escolhido no momento tecnológico atual a nível mundial para a implantação da lança dupla de carvão.

## 6 ADAPTADORES DE PROCESSO PARA O FLOWJAM S

O adaptador de processo é uma bucha especial em aço inox e tarugo usinado de teflon, para resistir a altas temperaturas e pressões do processo, além de permitir a passagem das microondas através do bloco de teflon.

Com a escolha definida para o detector de fluxo *Flowjam S*, será necessário para a sua utilização, o adaptador de processo, cuja finalidade é tornar o *Flowjam S* resistente a temperaturas e pressões mais elevadas.

O adaptador de processo original do instrumento *Flowjam* modelo S (Figura 7). Ele não atende as especificações de diâmetro do “T”, para as conexões dos detectores, nas bifurcações em “Y” projetadas para as lanças duplas de carvão dos altos-fornos 2 e 3 da Companhia Siderúrgica Nacional - CSN.

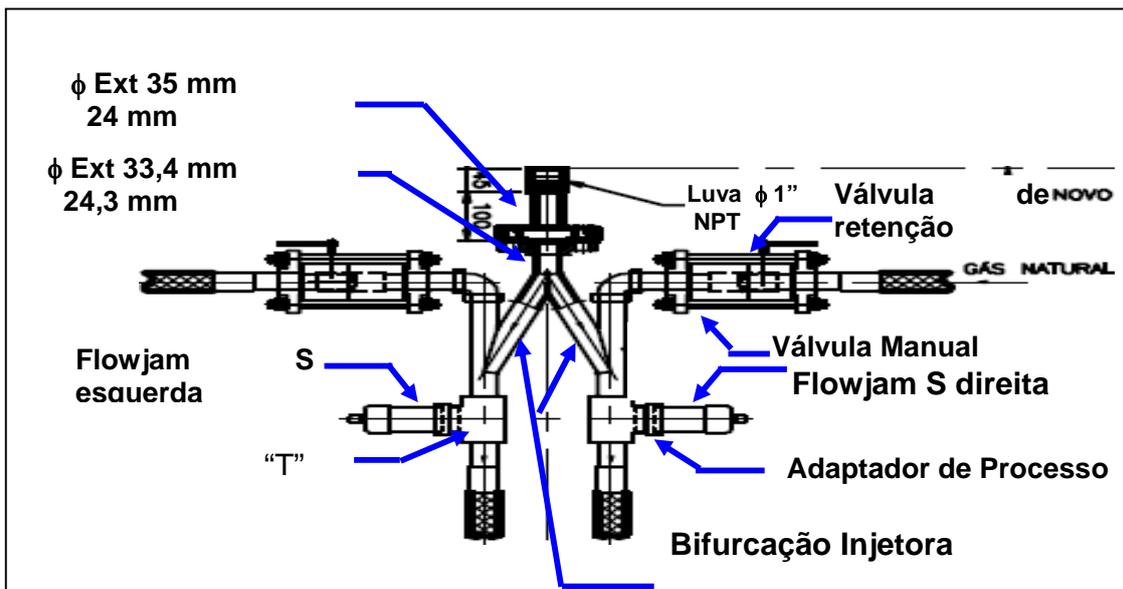


**Figura 7.** Adaptador original do detector Flowjam S.

O adaptador original foi confeccionado para:

- tubulação com diâmetros a partir de 2”;
- apresenta rosca externa de 15 mm de comprimento e 40 mm de diâmetro; e
- rosca interna de 15 mm de comprimento com 42,4 mm de diâmetro e com 11 pontos por polegada.

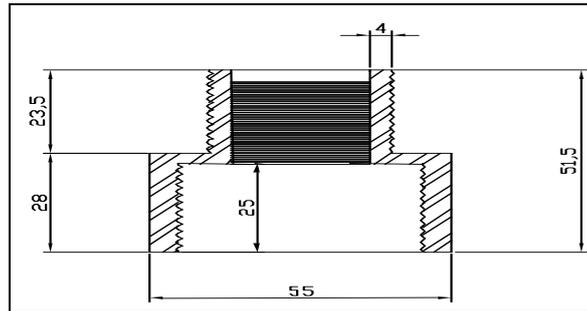
A Figura 8 abaixo ilustra a parte nova da instalação da bifurcação da lança dupla para divisão do fluxo de carvão com a opção de co-injeção e mistura com gás natural.



**Figura 8.** Bifurcação da Lança Dupla.

Para estes parâmetros de “T”, foi confeccionado pela CSN um adaptador de processo especialmente projetado para a bifurcação da lança dupla (Figura 9).

- Confeccionado para tubulação de ¾” ;
- Comprimento de rosca externa de 23,5 mm e diâmetro de 33 mm;
- Comprimento de rosca interna de 25 mm e diâmetro de 42,4 mm, com 11 pontos por polegada de rosca.



**Figura 9.** Adaptador confeccionado pela CSN para o detector Flowjam S.

O projeto do novo adaptador para o “T” usado na bifurcação contempla o alongamento do comprimento da rosca externa, para que o fluxo de carvão passe na face da conexão do processo (teflon) do sensor.

A intenção é evitar uma cavidade na frente do sensor, onde ocorreria o acúmulo de carvão pulverizado, obstruindo a passagem da onda eletromagnética, e impedindo a detecção correta da falta de fluxo de carvão.

O projeto contempla também o aumento do comprimento da rosca interna do adaptador, para melhor encaixe e suporte para o sensor remoto do conjunto *Flowjam S*.

## 7 TESTES PRELIMINARES COM O *FLOWJAM S*

Para comprovação inicial da funcionalidade do novo sensor *Flowjam S*, foi instalado um detector na linha principal de carvão do sistema de injeção do AF#2 (Figura 10) após os vasos de injeção. Ele tem as funções de:

- enviar uma resposta de entupimento ou falta de fluxo de carvão pulverizado da tubulação principal do AF#2 com uma maior rapidez; e
- proporcionar uma ação imediata da operação em caso de falta de fluxo de carvão.



**Figura 10.** *Flowjam S* instalado na linha principal de injeção do AF#2.

O detector *Flowjam S* foi instalado logo após os vasos de injeção que por sua vez estão distantes cerca de 450 metros dos distribuidores de carvão, onde estão localizados os *Granuflo*s. É possível medir a velocidade das partículas de carvão pulverizado na linha principal de injeção, quando ocorrer uma falha de fluxo ou parada de injeção. O atraso de tempo entre a detecção do *Flowjam S* e os *Granuflo*s é cerca de 60 segundos, obtendo uma velocidade média da partícula de carvão em 7,5 m/s.

## 8 CONCLUSÕES

O detector de carvão disponível no mercado tem diferentes princípios de funcionamento e conseqüentes índices de falhas e manutenção que devem ser considerados antes de qualquer projeto de PCI. O detector *Solidflow* se mostrou um excelente sobressalente sobre o detector *Granuflow*, pois seu tempo de resposta é tão bom quanto ao do *Granuflow*. O tubo cerâmico do *Solidflow* substitui com maior desempenho e menor índice de manutenção externa, pois não é necessário limpar lentes tal como no caso do *Granuflow*. Porém, ele só possui uma entrada de ½” NPT para conexão dos fios de alimentação e sinal.

Os detectores baseados em detecção por temperatura, *Termoflow*, não se mostraram adequados para uso na detecção de fluxo, devido ao tempo de resposta alto e elevado custo de implantação e da dificuldade de ajuste do ponto de alarme.

Os sensores baseados na detecção de fluxo pelo ruído sônico e outros tipos exóticos, não foram analisados neste trabalho, devido ao seu princípio de funcionamento e, portanto confiabilidade baixa para a detecção de fluxo em sistemas de injeção de carvão pulverizado em altos-fornos.

Os detectores baseados na detecção de carga eletrostática, *Block*, não foram escolhidos, devido as suas susceptibilidades ao acúmulo de carvão na superfície dos eletrodos de detecção e a interferência eletromagnética do meio. O *Block* não é um dispositivo disponível no mercado mundial, ou seja, de fácil reposição, além de que seu princípio de funcionamento exige elevada manutenção.

A escolha do *Flowjam S* foi decisiva para a elaboração do projeto da “Lança Dupla de Carvão Pulverizado nos Altos-Fornos da CSN”. Trata-se de um dispositivo fabricado seguindo as normas modernas de segurança intrínseca, maneabilidade e robustez.

O detector *Flowjam S* tem se mostrado eficiente para a detecção de fluxo de carvão. Seu uso é prático, pois possui pouco peso, sendo de fácil ligação e manutenção. A parte de sua eletrônica está longe da alta temperatura entre os algaravizes, sendo que a alimentação do sensor em 24 Vcc com somente dois fios e seu projeto moderno com LEDs indicativos das funções de detecção e ligação correta do sensor foram as principais vantagens que determinaram a sua escolha no projeto da “Lança Dupla de Carvão Pulverizado nos Altos-Fornos da CSN”.

As informações sobre o desempenho e índice de manutenção dos detectores, bem como a escolha do princípio de funcionamento faz parte do livre arbítrio de cada projetista e de cada usina siderúrgica. Porém, a atualização tecnológica dos dispositivos e a experiência prática do dia-a-dia de cada equipe de operação/manutenção dos Alto-fornos e PCI das usinas Brasileiras devem ser considerados pelos projetistas de sistemas de injeção de carvão pulverizado bem como seus fabricantes.

Este artigo visou equalizar e divulgar a experiência da CSN baseada nesta ampla pesquisa técnica realizada. Alguns dos pontos de vista abordados são visões exclusivas dos autores deste trabalho.

## Agradecimentos

Agradecemos as visitas técnicas e as informações prestadas pelas equipes de manutenção e operação dos altos-fornos da Açominas/Ouro Branco-MG, Arcelor Mittal / Monlevade - MG, Cosipa/Cubatão-SP, CST/Vitória-ES, e Usiminas/Ipatinga-MG.

## REFERÊNCIAS

- 1 Motta, R.S.N., Nora, B. S.; Automação do Sistema de Lança Dupla para Injeção de Carvão Pulverizado nos Altos-Fornos da CSN. Vassouras/RJ: Universidade Severino Sombra, Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica, 2009;
- 2 Lipták, Bela G. – Instrument Engineers´ Handbook - Third Edition 1995 – Cap. 2.6 – page 99; Process Measurement and Analysis;
- 3 Johansson A.; Medvedev, A. Detection of Incipient Clogging in Pulverized Coal Injection Lines. Lulea/ Suécia: IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.36, Nº 3 , May/June 2000;
- 4 Yong Yan; Mass flow measurement of bulk solids in pneumatic pipelines . School of Science and Technology, Teesside University, Middleborough, Cleveland, TS1 3BA, UK, publicação em 16 de Setembro de 1996;
- 5 Bortoni, E.C.; Souza Z.. Instrumentação para Sistemas Energéticos e Industriais. Itajubá/MG: Gráfica e Editor Novo Mundo Ltda, 2006;
- 6 Manuais do **Granuflow** da Thermo Ramsey Company; [www.thermoramsey.com](http://www.thermoramsey.com), Tel: (763) 783-2500; 501 90<sup>Th</sup> Avenue N.W. Minneapolis, MN 55433 (EUA);
- 7 Manuais do **Flowjam S** da SWR engineering Messtechnik GmbH.[www.swr-engineering.com](http://www.swr-engineering.com), Tel: +49 7635 82 72 48-0, Fax: + 49 7635 82 72 48-48;Gutedelstrabe 31 – 79418 Schliengen (Alemanha);
- 8 Manuais do **Solidflow** da Wadeco.International Sales and Marketing, Wire Automatic Device Co. Ltd. e-mail: [m.hartnett@wadeco.co.jp](mailto:m.hartnett@wadeco.co.jp), [www.wadeco.co.jp](http://www.wadeco.co.jp) (Japão).