



## EMPREGO DO LAVADOR DE GASES NO CONTROLE DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA DE PARTICULADOS

### **Ivan da Costa Lobato**

Departamento de Engenharia Química - DEQ/UFPA

### **Marcos Ximenes Pontes**

Departamento de Engenharia Mecânica - DEM/UFPA

Campus Universitário do Guamá, Rua Augusto Corrêa, 01.

66075-900, Belém-PA-Brasil

### **Célio Augusto Gomes Souza**

Departamento de Engenharia Química - DEQ/UFPA

Campus Universitário do Guamá, Rua Augusto Corrêa, 01.

66075-900, Belém-PA-Brasil - E-mail: celioag@ufpa.br

***Resumo.** Neste trabalho é feito um estudo referente à separação de particulados na corrente de gases de combustão do óleo ultraviscoso (BPF) tipo 1A, objetivando a avaliação do desempenho do lavador de gases em função da razão entre as vazões do líquido circulante e dos gases de combustão, da velocidade dos gases, da pressão nos bicos de pulverização, da área de contato gás/líquido e da concentração de particulados. A eficiência de separação de particulado sólido total foi determinada mediante a quantificação das concentrações e das taxas de emissão deste poluente atmosférico. Amostras foram realizadas in situ com o coletor isocinético nos diversos ensaios procedidos no lavador de gases em situação real de funcionamento. Os melhores resultados foram alcançados ao se utilizar bicos que proporcionaram gotas de diâmetro médio de 1530 microns.*

***Palavras-chave:** Controle de poluição, Gases de combustão, Óleo ultraviscoso, Lavador de gases.*

## **1. INTRODUÇÃO.**

De acordo com a definição contida na Resolução N<sup>o</sup> 03 , de 28 de junho de 1990, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou característica em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem estar público; danoso aos materiais, à

fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Estudo epidemiológicos realizados por Speizer (1969), indicam claramente que existe uma associação entre a poluição do ar, através de material particulado fino acompanhado de óxidos de enxofre, e as doenças das vias respiratórias. As partículas sólidas, fuligem, constituintes dos produtos da queima de óleo combustível, segundo Verghanini e Neves (1992), encontram-se distribuídas na sua grande maioria entre 3 e 12 microns; o que exige equipamentos separadores de alta eficiência tais como filtro de manga e precipitador eletrostático de custo muito elevado. Uma alternativa promissora para separação desse poluente antropogênico é o lavador úmido de gases centrífugo, antes utilizado exclusivamente para remoção de poluentes gasosos por absorção química.

Efetou-se a avaliação do desempenho do lavador de gases em função da razão entre as vazões do líquido circulante e dos gases de combustão, da velocidade dos gases, da pressão nos bicos de pulverização e da concentração de particulados.

## 2. EQUIPAMENTO

### 2.1 Lavador de gases centrífugo

Instalado em uma indústria localizada em área urbana da cidade de Belém, construído em resina isoftálica reforçada com fibra de vidro. Possui entrada tangencial e diâmetro do corpo cilíndrico de 1,20 m, altura total de 3,50 m, capacidade de 3,9 m<sup>3</sup> e munido de 30 bicos de pulverização tipo cone oco, dispostos em espiral ao longo do tubo mestre de aço inoxidável 304 e diâmetro de 3,8 cm. A Figura 1 mostra a vista interna deste tipo de lavador.

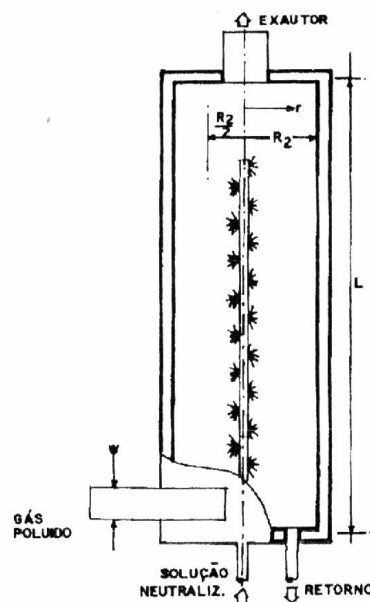


Figura 1 - Vista interna do lavador de gases centrífugo.

A Figura 2 apresenta a disposição do lavador de gases na planta de controle de poluição do ar na indústria Procter & Gamble, Belém - Pará.

## 2.2 Bicos de pulverização

Foi utilizado o tipo de cone oco por apresentar somente duas partes integrantes, o que facilita a sua manutenção. A entrada tangencial na câmara de turbilhonamento diminui a possibilidade de obstrução do bico por acúmulo de particulado. É capaz de formar ângulos de pulverização de 40° a 165° e de corresponder à combinação entre o tamanho da gota e a vazão necessária. A Figura 3 mostra as dimensões principais do bico de cone oco, modelo B.BX, conexão de 6,35 mm com rosca e tamanhos de furo utilizados nos ensaios de 2,00 mm e 4,00 mm.

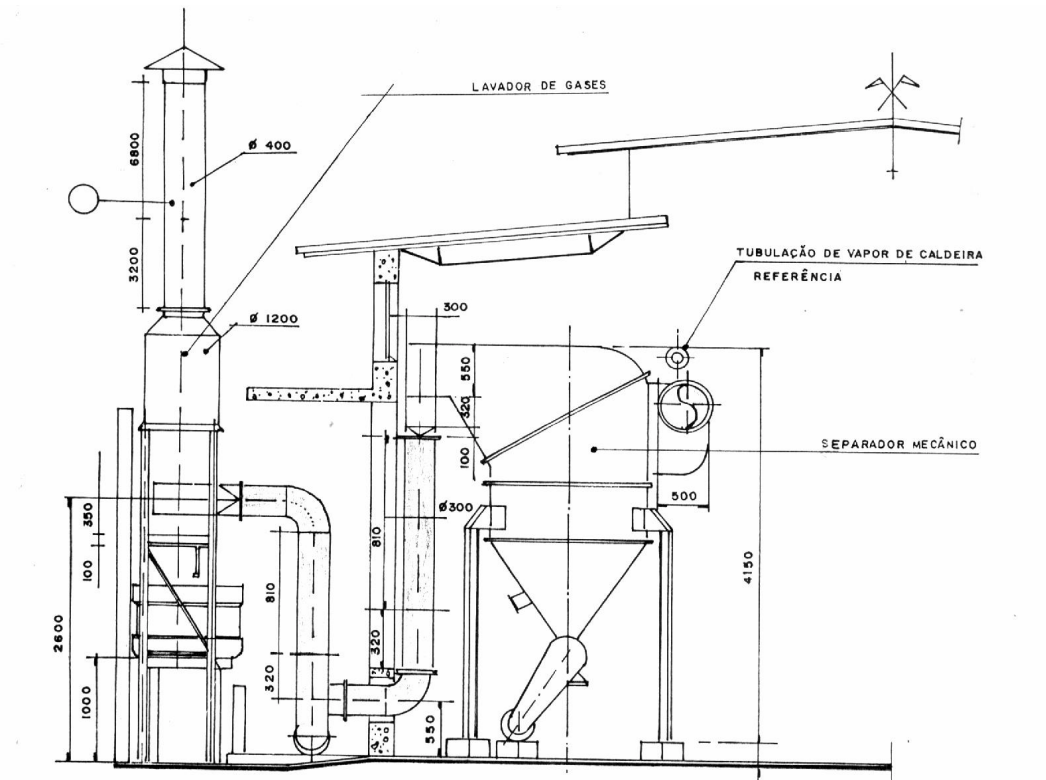


Figura 2 - Planta industrial do processo alcalino de lavagem de gases.

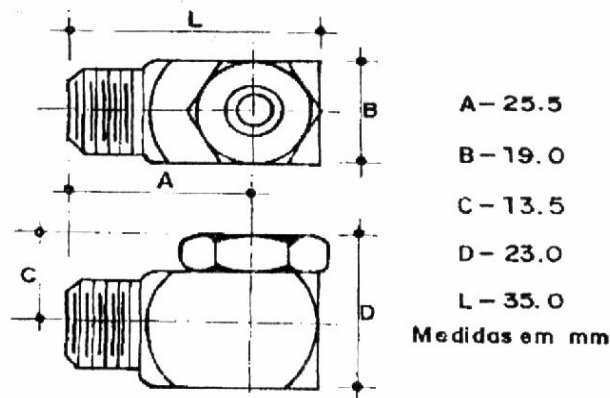


Figura 3 - Bicos de pulverização tipo cone oco. Spray System Co. (1993).

### 3. EXPERIMENTO

#### 3.1. Material particulado

A concentração do material particulado é determinado mediante a relação entre a massa captada em papel de filtro de fibra de vidro e posteriormente pesada em balança analítica, e o volume do gás coletado e registrado no gasômetro a seco do coletor isocinético. O método 5 de amostragem de gases em duto e chaminé da United States Environmental Protection Agency (USEPA) (1976), correspondente ao L.9.2225 da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) (1990) e ao NBR 1201 da Associação de Normas Técnicas (ABNT) (1995), definem como coleta isocinética aquela realizada em condições tais que o fluxo de gás na entrada do equipamento de amostragem tenha a mesma velocidade que o fluxo de gás a ser analisado. Para execução do ensaio é necessário o analisador de gases, constituído essencialmente de uma sonda com tubo de Pitot tipo S, uma caixa quente onde é instalado um porta filtro com aquecimento interno por resistência elétrica, uma caixa fria que acondiciona quatro frascos borbulhadores, imersos parcialmente em gelo e um painel de comando com a instrumentação necessária.

Os gases provenientes da queima de óleo combustível BPF 1A são emitidos através da chaminé à atmosfera, após atravessar um separador mecânico de partículas a seco e um lavador de gases, conforme mostra a Figura 2. Os pontos de amostragem estão localizados na entrada e saída do lavador.

Após a instalação e a montagem do aparelho no local determinado, efetuou-se os testes preliminares de vazamento, das medidas das pressões estática e dinâmica, da umidade do fluxo gasoso e do diâmetro da boquilha da sonda, realizou-se então a amostragem propriamente dita no aparelho, em toda extensão da seção do duto na entrada do lavador e na chaminé de emissão à atmosfera. Os procedimentos experimentais de cada ensaio, no que diz respeito às técnicas de amostragem em dutos e chaminés de emissão de fontes fixas, foram descritas mais detalhadamente no trabalho de Lobato (1998).

#### 3.2. Características operacionais do lavador de gases

**Tamanho de gotas no lavador de gases.** A determinação do tamanho de gotas produzidas pelo conjunto de bicos pulverizadores foi baseada na captação dessas gotas sobre papel sensível à água de tamanho 76 x 26 mm, fabricado pela Ciba-Geigy. O papel foi exposto à região de atomização a uma distância média de 0,20 m abaixo do bico. Foram realizadas mais de 30 medidas para cada série de tamanho de bico.

**Vazão do licor circulante no lavador de gases.** A vazão da bomba de circulação de soda cáustica, foi medida através do método por gravimetria do material coletado do tubo de drenagem do fundo do lavador em um recipiente de capacidade de 0,20 m<sup>3</sup>, e procedidas as pesagens. O tempo de coleta foi marcado em um cronômetro, e após vários e sistemáticos ensaios, foi medida a temperatura de cada amostra mediante a leitura de um termômetro com escala de 0 a 100 °C, para as devidas correções da densidade da solução cáustica.

**Perdas de carga no lavador de gases.** A medida das perdas de carga dos gases de combustão ao atravessar o lavador centrífugo em estudo foi efetuada mediante um manômetro tipo U com coluna de água, escala de 0 a 500 mm. Uma das extremidade foi conectada no duto de entrada do lavador e a outra na base da chaminé de emissão dos gases à atmosfera. A

variação da perda de pressão global,  $\Delta p_g$ , foi medida pela leitura do manômetro em U nos diversos ensaios com os bicos de lavagem dos gases em operação e com a bomba de circulação do licor parada.

A perda de pressão do licor alcalino ao atravessar o conjunto de bicos de pulverização foi efetuada mediante a leitura direta em um manômetro tipo Bourdon, escala de 0 a 100 psig, instalados nos trechos de recalque da bomba e extremidade superior do tubo mestre de distribuição dos bicos aspersores. A diferença entre os valores medidos simultaneamente para cada corrida representam a queda de pressão global do líquido,  $\Delta p_l$ .

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Emissão de material particulado

A Tabela 1 mostra os resultados das medidas isocinéticas das concentrações,  $C_{MP}$ , taxas de emissão de material particulado,  $T_{MP}$ , e a eficiência de separação desse material no lavador de gases durante a operação normal da caldeira.

A concentração do material particulado,  $C_{MP}$ , é determinado dividindo-se a massa de material particulado total,  $M_{pt}$ , pelo volume de gases medido no coletor isocinético e corrigido às condições normais de pressão e temperatura,  $V_{mcn}$ .

A taxa de emissão de material particulado,  $T_{MP}$ , é obtida pelo produto da concentração,  $C_{MP}$ , com a vazão dos gases de combustão na chaminé do lavador, corrigida para as condições normais de pressão e temperatura,  $V_{zcs}$ . A taxa de emissão,  $T_{MP}^*$ , adotada pela CONAMA, é obtida mediante a divisão da  $T_{MP}$  pela média da massa horária do combustível consumido e seu poder calorífico superior. Calcula-se  $C_{MP}$  e  $T_{MP}$  mediante as equações:

$$C_{MP} = \frac{M_{pt}}{V_{mcn}} \quad (1)$$

e

$$T_{MP} = C_{MP} \cdot V_{zcs} \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

A eficiência de separação de material particulado,  $\eta_{MP}$ , calcula-se como a diferença entre as concentrações de entrada,  $C_e$ , e de saída,  $C_s$ , dividida pela concentração de entrada:

$$\eta_{MP} = \frac{(C_e - C_s)}{C_e} \cdot 100 \quad (3)$$

Tabela 1 - Concentrações e taxas de emissão do material particulado.

Medidas	Bico	$C_{MP}$ (mg/Nm <sup>3</sup> )	$T_{MP}$ (kg/10 <sup>6</sup> )	$T_{MP}^*$ (g/10 <sup>6</sup> kcal)	$\eta_{MP}$ (%)
Entrada do lavador	-	227,84	0,6051	544,72	-
Saída do lavador	B <sub>1</sub>	127,82	0,3874	301,83	43.9
	B <sub>2</sub>	188,01	0,3712	299,96	17.5

## 4.2 - Características operacionais do lavador de gases.

**Vazão e perda por arraste do líquido.** Os resultados das medidas realizadas no lavador de gases para determinação da vazão do licor alcalino no lavador sem fluxo de gases de combustão,  $Q_{L1}$ , e com a caldeira em operação,  $Q_{L2}$ , assim como as perdas desse líquido por arraste,  $A_{rr}$ , para a atmosfera.

Calcula-se o percentual de arraste, por:

$$\% A_{rr} = \frac{[Q_{L1} - Q_{L2}]}{Q_{L1}} \times 100 \quad (4)$$

Tabela 2 - Vazões  $Q_{L1}$ ,  $Q_{L2}$  arraste do licor no lavador de gases.

Tamanho do bico (mm)	Número de bicos	$Q_{L1}$ (L/min)	$Q_{L2}$ (L/min)	$A_{rr}$ (%)
B <sub>1</sub>	30	87,4	77,3	11,5
B <sub>2</sub>	30	142,8	142,8	3,9

Quando o lavador operou com conjunto de bicos de menor tamanho, B<sub>1</sub>, ocorreu um aumento de arraste de licor na forma de vapor na corrente gasosa, conforme observações experimentais de Saleem (1980): Quanto menor o tamanho das gotas, maior a superfície de contato gás líquido; no entanto tendem ser arrastadas pela corrente gasosa. Com gotas de maior tamanho, a superfície gás - líquido é reduzida e pode ser compensada pelo aumento da circulação do licor, o que implica no aumento do consumo de energia.

**Perdas de carga no lavador de gases.** As pressões medidas no bico de pulverização,  $P_b$ , e no recalque da bomba de circulação do licor alcalino,  $P_l$ , são mostrados nas Tabelas 3 :

Tabela 3 - Pressões  $P_l$ ,  $P_g$  e tamanhos de bicos, B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub>.

$P_l$ (atm)	$P_b$ (atm)	Tamanho do bico	Diâmetro do orifício (mm)
3,4	2,4	B <sub>1</sub>	2
2,9	1,7	B <sub>2</sub>	4

A Tabela 4 mostra as quedas de pressão do gás ao atravessar o lavador,  $\Delta P_g$ , do líquido ao ser pulverizado pelos bicos,  $\Delta P_l$ , e as vazões do licor alcalino,  $Q_1$ , e gases no lavador,  $Q_2$ .

Tabela 4 - Quedas de pressão  $\Delta P_g$ ,  $\Delta P_l$  e as vazões  $Q_1$  e  $Q_2$  como parâmetros operacionais do lavador.

$\Delta P_g$ cmca	$\Delta P_l$ psig	$Q_1$ l/min	$Q_2$ m <sup>3</sup> /min	$Q_1 / Q_2$ l/m <sup>3</sup>	$\phi$ Bico mm	$\eta_{MP}$ %
12	14	5206,90	35,60	146,00	2,00	43,90
18	18	8798,40	35,60	246,7	4,00	17,50

As perdas de carga dos gases medidas nos ensaios com bicos de tamanhos diferentes estão bem próximos do intervalo de 15 a 25 cmca, apresentado no trabalho de Gilbert (1977) sobre lavadores de gases por via úmida, tipo centrífugo, classificados com o equipamento de baixa energia requerida. Este fato confirma que a geometria do lavador satisfaz as condições de escoamento dos gases de combustão.

## 5. CONCLUSÕES

A unidade industrial de controle de poluição atmosférica instalada, possibilitou estudar e quantificar o efeito de parâmetros operacionais do lavador de gases centrífugo no que diz respeito à separação de material particulado (fuligem).

As concentrações do material particulado com os diferentes tamanhos de bico estão acima do valor de 120 gramas de partículas sólidas totais por milhão de quilocalorias, estabelecido pela Resolução Nº 08 de 06 de dezembro de 1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), para fontes fixas de poluição e áreas classificadas como classe I.

Verifica-se que dos dois bicos de pulverização utilizados nos ensaios sistemáticos no lavador de gases, o que apresentou melhor eficiência de separação de fuligem foi o bico de cone oco de menor tamanho de orifício (2mm).

Através de exame visual feito nos bicos de pulverização, construídos em aço inoxidável 304, observou-se em sua superfície interna acentuado desgaste por erosão provocado pelo atrito da fuligem, após seis meses de uso.

## 6. REFERÊNCIAS

Associação de Normas Técnicas, Catálogo ABNT, 1995, Associação brasileira de normas técnicas. Rio de Janeiro, 360 p.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, 1990, Método de amostragem em dutos ou chaminé de fontes estacionárias, São Paulo, Apostila do Curso de Amostragem em chaminé.

Conselho Nacional de Meio Ambiente - Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República, Resolução Nº 08, de 10 de dezembro de 1990, 1990, Dispõe sobre os limites máximos, em nível nacional, de emissão de poluentes do ar por combustão em fontes fixas, Diário Oficial da União, Brasília, DF. P. 25.53928, 28. 12.

Lobato, I.C. 1998, Estudo do lavador de gases centrífugo no controle das emissões de SO<sub>2</sub>. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, 138 p.

Gilbert, W., 1977, Troubleshooting wet scrubbers, Chemical Engineering.

Saleem, A., 1980, Spray tower: The workhorse of flue - gas desulfurization, Power.

Speizel, F.E., 1969, An epidemiological appraisal of the effects of ambient air health: Particulates and oxides of sulfur. Journal of Air Pollution Control Association, n. 19, p. 647 - 56.

Spraying Systems Co., 1972, Industrial Spraying Catalog 514 A - M. Illinois, USA, pp. 271 - 73, 306, 406.

United States Environmental Protection Agency, 1976, Stationary Source Test Methods. Federal Regulation, Title 41, Part 53199, Office of Federal Register.

Verghanini, R. & Neves, A. S. B., 1992, Levantamento experimental da taxa de emissão de poluentes na queima de óleo combustível ultraviscoso em caldeira a vapor aquotubular. In: Anais Congresso Brasileiro de Engenharia Química - ABEQ, Salvador.

## **EMPLOYMENT OF DE GAS SCRUBBER IN THE CONTROL OF ATMOSPHERIC POLLUTION OF PARTICULATES**

**Abstract.** A reference study of particulate separation in a stream of combustion gases of fuel-oil type 1A, was done for the evaluation of gas scrubber performance relative to ratio of circulation liquid and gas flows, gas velocities, pressure in spraying nozzles, gas-liquid interface and particulate concentration. The separation efficiency of total solid particulate was determined by a quantification of concentrations and emission rates of this atmospheric pollutant. Samples were collected in situ using an isokinetic collector in several assays done in the gas scrubber in a real operating situation.

Key-words: Pollution control, Combustion gases, High-viscosity fuel oil, Gas scrubber