

ESTUDO EXPERIMENTAL DE ABSORÇÃO DE SO₂ EM TORRE DE NEBULIZAÇÃO

Milene Costa Codolo

Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP – Rua Mendeleev, 200 – Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas, SP
milenec@fem.unicamp.br

Waldir Antonio Bizzo

Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP – Rua Mendeleev, 200 – Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas, SP
bizzo@fem.unicamp.br

Abstract. This work studied the SO₂ absorption in alkaline solution (NaOH) in a countercurrent spray tower. It was carried out an experimental study, in order to analyze the influence of the variables of the absorption process. The studied variables were: gas flow, liquid flow and SO₂ concentration in the gas inlet. The liquid/gas ratios (l/g) were calculated from the gas flow and the liquid flow, to find out the best operation parameters of the spray tower. The absorption solution was sprayed by five pressure nozzle placed on the top of the spray tower, therefore the whole area was covered by drops. The study was carried out at pH between 8 and 9, to assure that the whole SO₂ was absorbed by the alkaline solution. The data showed a great influence of the water flow in the absorption efficiency, it was noted too that in l/g ratios higher than 6 l/m³, the efficiency is nearly constant, around 95%, and below this value, a reduction in the l/g ratio causes a great influence in the absorption efficiency. The variables gas flow and SO₂ concentration in the gas inlet showed influence only in some operation parameters.

Resumo. Este trabalho estuda a absorção de SO₂ em solução alcalina de NaOH em uma torre de nebulização contra-corrente. Foi realizado um estudo experimental, a fim de analisar a influência das variáveis no processo de absorção. As variáveis estudadas foram: vazão de gás, vazão de líquido e concentração de SO₂ na entrada de gás. A partir das vazões de líquido e gás foram calculadas as relações líquido/gás (l/g), para determinar a melhor faixa de operação da torre de nebulização. A solução de absorção foi pulverizada através de cinco bicos pulverizadores de pressão, dispostos no topo da torre de maneira que toda a área fosse coberta pelas gotas. O estudo foi realizado em pH entre 8 e 9, para garantir a reação de todo SO₂ com a solução de absorção. Os dados mostraram a grande influência da vazão de água na eficiência de absorção, mostraram também que em relações l/g acima de 6 l/m³ a eficiência permanece praticamente constante, na faixa de 95% e abaixo deste valor a redução da relação l/g gera grande influência na eficiência de absorção. No caso da vazão de gás e concentração de SO₂ na entrada de gás, houve influência na eficiência de absorção, mas a influência foi constatada somente em algumas condições de operação.

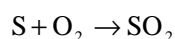
Keywords: spray tower, desulfurization, SO₂ absorption

1. Introdução

A maior proporção de poluentes atmosféricos gerados em diferentes áreas tem origem em processos de combustão. Quando combustíveis fósseis são queimados para gerar calor ou energia, uma ampla variedade de substâncias poluentes podem ser criadas. Os tipos e as quantidades de poluentes atmosféricos emitidos dependem do tipo de processo de combustão.

Óxidos de enxofre, SO₂ e SO₃ são formados a partir da queima de combustíveis que contenham enxofre. Estas substâncias são fortes irritantes respiratórios, podem causar prejuízos à saúde em altas concentrações e causam perda de clorofila em plantas verdes.

Os combustíveis usados atualmente (óleo, gás natural, madeira, turfa ou outro material orgânico) contém alguma quantidade de enxofre. Combustíveis como madeira tem muito pouco (0,1% ou menos), enquanto que a maioria dos carvões possuem de 0,5% a 3%. Óleos possuem normalmente mais enxofre que madeira e menos que carvão. Na queima do combustível, o enxofre em geral forma dióxido de enxofre de acordo com a reação (De Nevers, 1995):



O processo de dessulfurização de gases provenientes do processo combustão é basicamente dividido em três categorias: processo seco, semi-seco e úmido (Baumbach, 1996). A dessulfurização úmida é uma tecnologia madura amplamente usada na coleta de gases solúveis. Todos os lavadores úmidos contam com um contato íntimo, do fluxo de gás com a solução de absorção, para alcançar a coleta dos gases poluentes e material particulado. Este processo de contato é uma etapa limitante na eficiência (Golesworthy, 1999).

O fator comum para todos os processos de dessulfurização é o uso de um equipamento de contato gás-líquido. Esses equipamentos tem a característica de criar uma grande superfície de contato, com isso promove a transferência de massa de SO₂ para a fase líquida. O que basicamente diferencia um processo do outro é a escolha

do reagente utilizado na solução de absorção.

A remoção de poluentes como SO_2 de fluxo de gases produzidos através queima de combustíveis em plantas de energia ou incineração, frequentemente ocorrem por meio de lavadores de gases. Na maioria dos lavadores, o líquido de absorção coletado no fundo é reciclado através do absorvedor. Como consequência deste processo de recirculação, as concentrações de íons, como sulfato, em solução são elevadas. As forças intermoleculares entre esses íons e o dióxido de enxofre dissolvido influenciam o processo de absorção (Krissmann et al., 1998).

O lavador mais comumente usado para dessulfurização é a torre de nebulização contracorrente, onde o gás entra no fundo da torre e o líquido é distribuído através de bicos pulverizadores, posicionados horizontalmente no topo do equipamento ou em sua lateral interna. A solução de limpeza quando deixa o equipamento, é coletada em um tanque de reação, que normalmente é integrada como a parte do fundo do lavador (Brogren e Karlsson, 1997).

Algumas das principais vantagens da torre de nebulização são: a alta capacidade de tratamento, baixa queda de pressão, baixo custo de investimento e a possibilidade de operar um sistema de três fases (Pinilla, et al, 1984).

Este trabalho tem o objetivo de estudar experimentalmente uma torre de nebulização para a absorção de SO_2 . O estudo experimental se concentra na análise das variáveis do processo de absorção, como: velocidade do gás, vazão de água e concentração de SO_2 , determinando as melhores condições de operação do equipamento.

2. Descrição da Bancada Experimental

A bancada experimental é composta por uma torre de nebulização, associada ao sistema de preparação e de análise de gases, bem como ao sistema de injeção e controle da solução de absorção. A torre de nebulização utilizada no experimento possui 210 mm de diâmetro e 430 mm de altura útil (entre a entrada e a saída de ar). A Figura 2.1 mostra o fluxograma da bancada experimental.

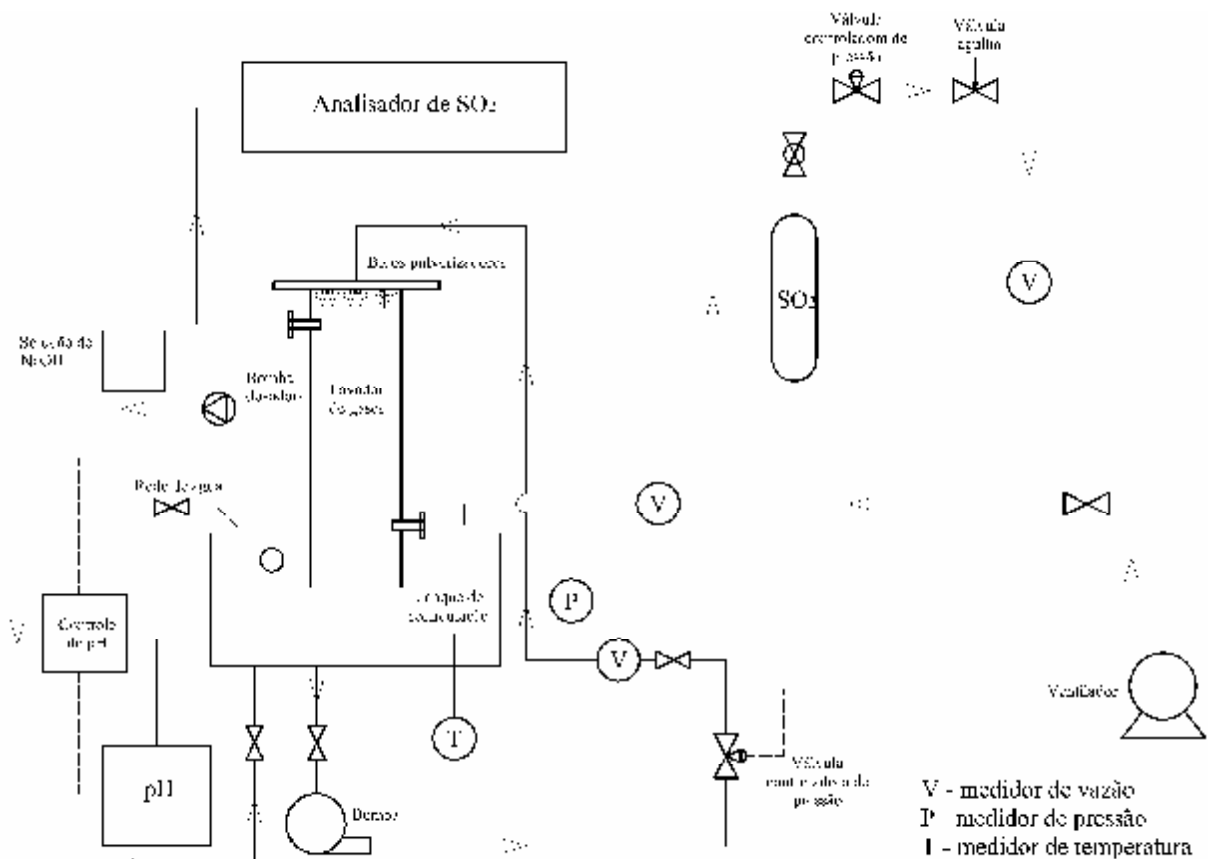


Figura 2.1. Bancada Experimental

Ar foi insuflado por meio de um ventilador e posteriormente contaminado com SO_2 puro engarrafado. O sistema possui controle de vazão tanto para o ar quanto para o SO_2 . A análise dos gases é feita na entrada da torre, para controle da concentração de entrada de SO_2 e na saída para verificar a concentração de SO_2 após a dessulfurização.

A entrada dos gases na torre de nebulização é feita pela parte inferior e a saída pela parte superior. No topo da torre estão dispostos os bicos pulverizadores de pressão, configurando funcionamento contra-corrente. Uma

combinação de bicos foi escolhida, para atender as necessidades de vazões de água. Para obter maior uniformidade de distribuição de gotas, foram usados cinco bicos de pressão de cone cheio, com ângulo de 15° para os bicos periféricos e 30° para o bico central, todos com diâmetro do orifício de 1,6 mm.

A solução de absorção utilizada é uma solução de NaOH, durante a realização do experimento a solução foi mantida em pH acima de 9, no tanque de recirculação, para garantir que todo SO₂ reagisse com NaOH. Para isto foi utilizada uma bomba dosadora, que automaticamente era acionada, assim que o pH indicado fosse inferior a 9. A solução concentrada de NaOH, proveniente de um reservatório acoplado a bomba, é succionada e injetada no tanque de recirculação. Segundo Pinilla et al (1994) a solução de absorção deve ser mantida em pH acima de 9. A reação entre SO₂ e NaOH em tais condições é considerada irreversível e instantânea, e portanto a resistência do lado líquido pode ser negligenciada.

3. Metodologia

A estudo experimental consiste na análise das variáveis do processo de absorção. Desse modo o processo de dessulfurização foi realizado em diferentes condições de operação. A primeira variável é a velocidade do gás na entrada da torre, variando de 5 a 10 m/s, que corresponde as vazões de 82,1 m³/h, 98,5 m³/h, 114,9 m³/h, 131,3 m³/h, 147,8 m³/h e 164,2 m³/h. Segundo Schmidt e Stichlmair (1991) a faixa comum de velocidade em processos industriais de absorção é de 5 m/s a 20 m/s. A segunda variável do processo é a concentração de entrada de SO₂, que foi de 700 ppm, 1000 ppm e 1400 ppm. A terceira variável é a vazão de água, esta por sua vez determina a relação líquido/gás (l/m³). As vazões utilizadas foram: 300 l/h, 600 l/h e 900 l/h. Diante das variáveis descritas foram analisadas 54 diferentes condições para absorção de SO₂.

4. Análise dos resultados

A análise dos resultados é feita através da eficiência em função das variáveis do processo. A velocidade do gás no interior da torre influencia no tempo de contato entre as duas fases, desse modo foi calculado o tempo de residência, que é o tempo de permanência do gás no interior da torre, para verificar sua influencia. As figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram as curvas de eficiência de absorção em função do tempo de residência do gás. O tempo de residência é função da altura útil da torre e da velocidade do gás.

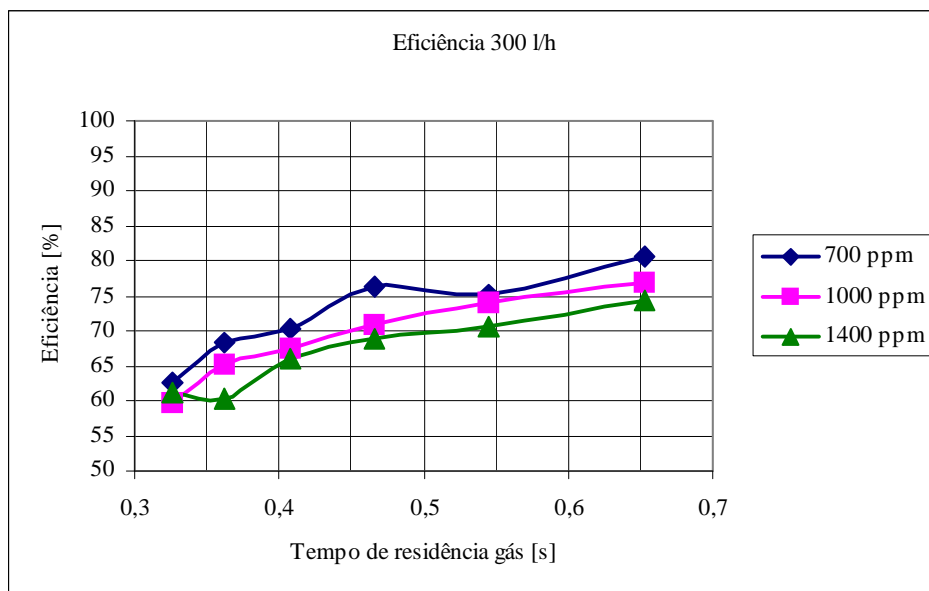


Figura 4.1: Eficiência em função do tempo de residência para vazão de 300 l/h.

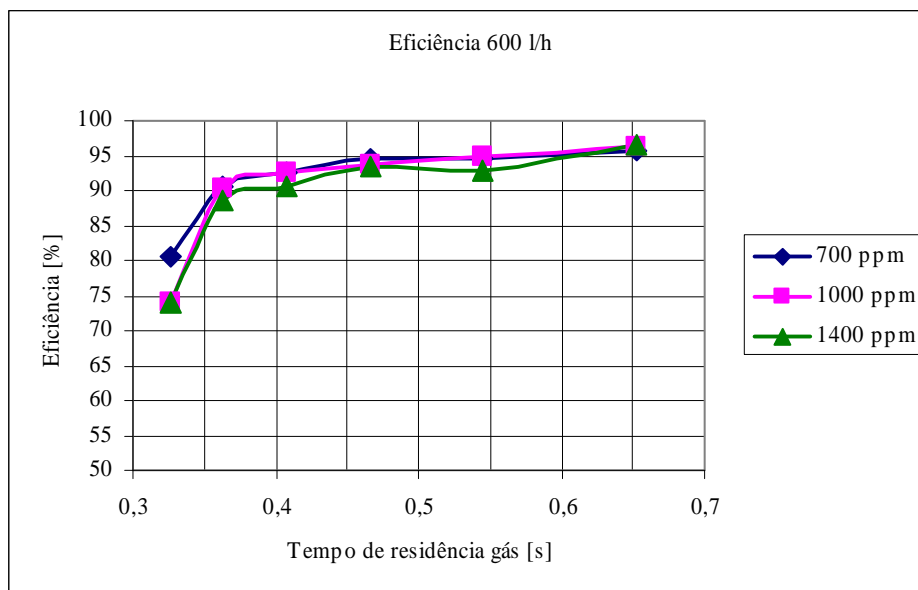


Figura 4.2: Eficiência em função do tempo de residência para vazão de 600 l/h.

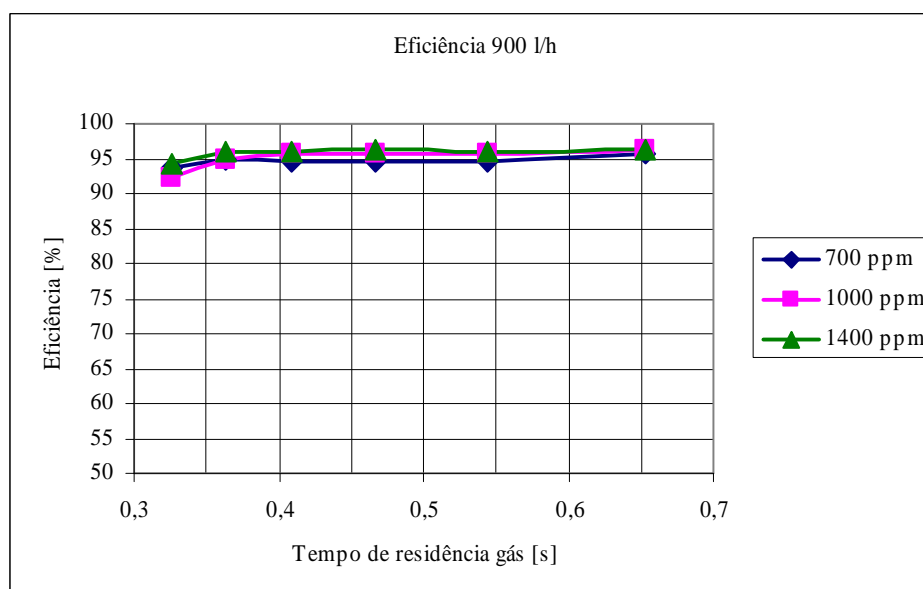


Figura 4.3: Eficiência em função do tempo de residência para vazão de 900 l/h.

O tempo de residência do gás apresentou maior influência na Figura 4.1, onde a vazão de água é menor (300 l/h), quanto maior o tempo de residência, maior foi a eficiência constatada. Na Figura 4.2 a influência é verificada apenas até o tempo de residência de 0,5 s, pois adiante a curva se mantém praticamente constante. Já na Figura 4.3, que apresenta a maior vazão (900 l/h), o tempo de residência apenas influenciou o primeiro trecho da curva, onde se encontra o menor tempo de residência (0,33s), o restante da curva permanece constante. Além disso, a concentração de SO₂ mostrou influência significativa apenas na Figura 4.1, com menor vazão.

As relações l/g calculadas para as condições de operação estudadas são apresentadas na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Relação L/G (l/m³) para as condições de operação.

	Vazão Água 300 l/h	Vazão Água 600l/h	Vazão Água 900l/h
Gás [m ³ /h]	L/G [l/m ³]	L/G [l/m ³]	L/G [l/m ³]
82,1	3,65	7,31	10,96
98,5	3,05	6,09	9,13
114,9	2,61	5,22	7,83
131,3	2,28	4,56	6,85
147,8	2,03	4,06	6,09
164,2	1,83	3,65	5,48

As figuras 4.4, 4.5 e 4.6 apresentam a eficiência em função da relação líquido/gás (l/g) para as vazões de 300 l/h, 600 l/h e 900 l/h.

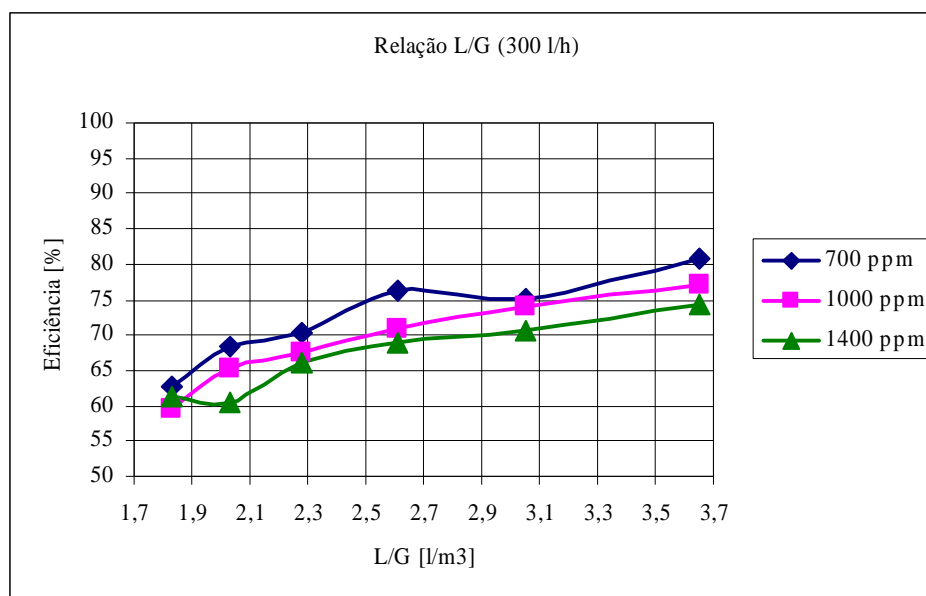


Figura 4.4: Eficiência em função da relação L/G, para vazão de água de 300 l/h.

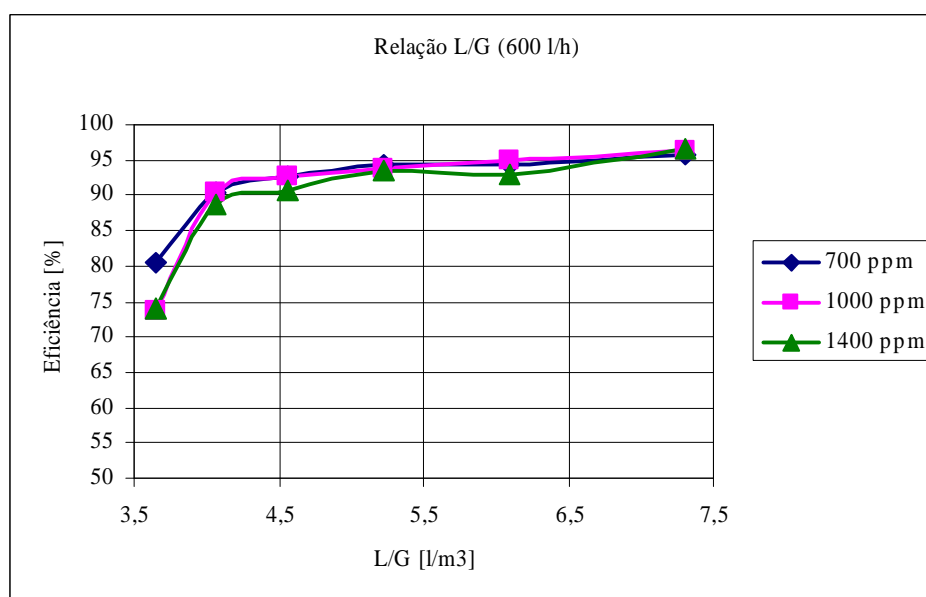


Figura 4.5: Eficiência em função da relação L/G, para vazão de água de 600 l/h.

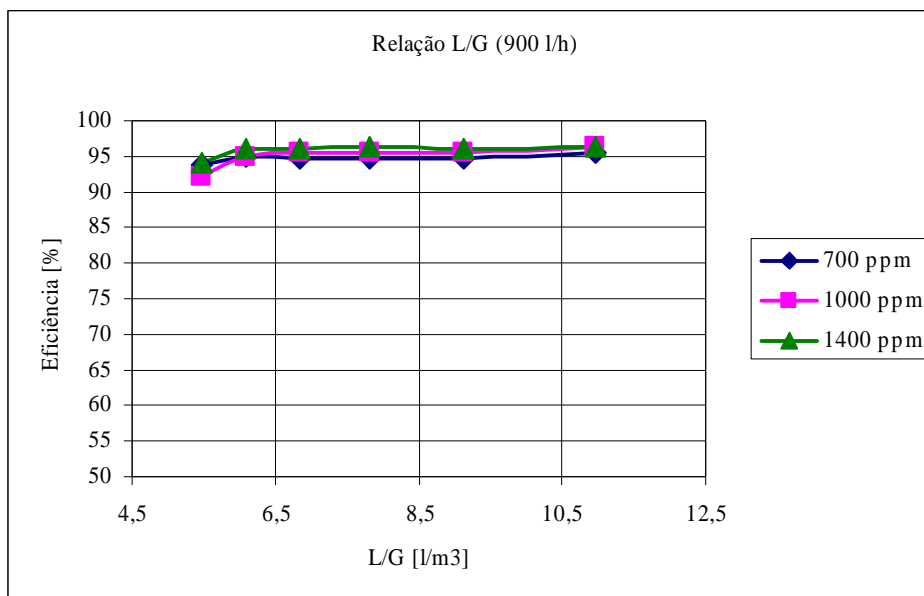


Figura 4.6: Eficiência em função da relação L/G, para vazão de água de 900 l/h.

As figuras 4.4, 4.5 e 4.6 mostram que a eficiência praticamente se mantém constante em relações L/G acima de 6 l/m^3 , de 94% a 96%, abaixo deste valor a eficiência de absorção se apresentou entre 60% e 93%. Pode ser verificada a influência da concentração de SO_2 , na eficiência de absorção até relação l/g de 4 l/m^3 .

A figura 4.7 mostra a eficiência em função da relação l/g para todas as condições já descritas.

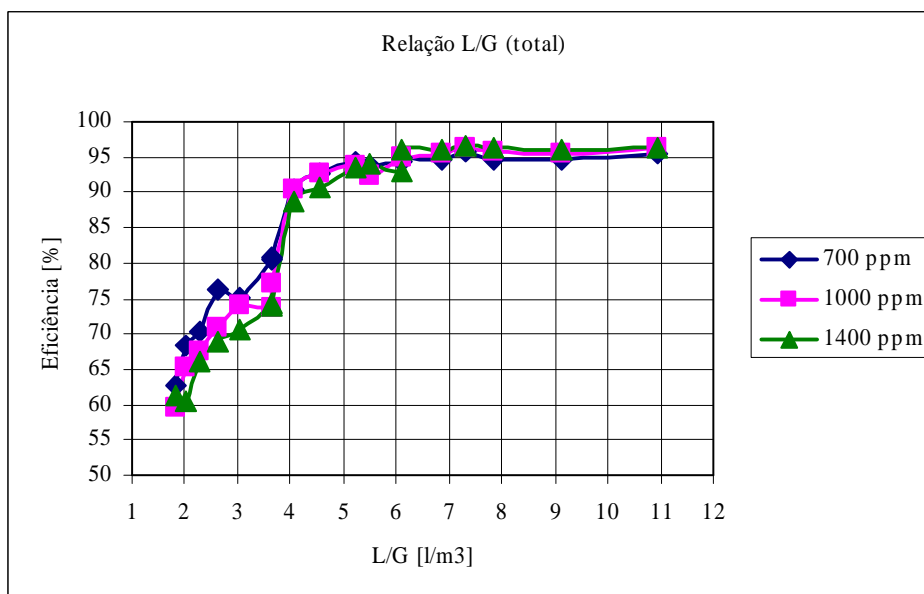


Figura 4.7: Eficiência em função da relação L/G, para todas as condições de operação.

Através da Figura 4.7 pode ser verificada a forte influência da relação L/G na eficiência de absorção, abaixo de 5 l/m^3 a diminuição na eficiência ocorre de maneira acentuada.

5. Conclusões

O estudo experimental da absorção de SO_2 na torre de nebulização mostrou a influência das variáveis: tempo de residência do gás, vazão de líquido, concentração de SO_2 na entrada e relação l/g (vazão de líquido em relação à vazão de gás), na eficiência de absorção na torre de nebulização. A vazão de líquido demonstrou ter grande influência na eficiência de absorção, pois quanto maior vazão de líquido, maior será a área interfacial, portanto

maior absorção. No entanto a influência da vazão de líquido na eficiência de absorção demonstrou ter limite, pois os resultados mostraram, que a eficiência se mantém praticamente constante (da ordem de 95%) em relações l/g acima de 6 l/m³. Este fato pode ser explicado através da maior coalescência das gotas, pois sua intensidade deve aumentar quanto maior for a vazão de líquido, fazendo com que a área interfacial não aumente e consequentemente também não aumente a taxa de transferência de massa. A coalescência das gotas diminui a quantidade de gotas, assim reduz a área interfacial em relação ao volume de líquido, pois aumenta o diâmetro médio das gotas. Em relações l/g abaixo do correspondente ao limite máximo de eficiência, foi demonstrada experimentalmente a influência do tempo de residência e a concentração de SO₂ na entrada.

Através dos experimentos realizados foi notado que com a configuração atual da torre sua eficiência atingiu seu limite máximo, sendo assim para alcançarmos eficiências de absorção superiores seriam necessárias modificações do equipamento, como mudança na disposição dos bicos pulverizadores, bem como a troca dos mesmos.

6. Referências Bibliográficas

- Baumbach, G. Air Quality Control. Berlim: Springer, 1996, 385 p.
- Brogren, C., Karlsson, H.T. Modeling the Absorption of SO₂ in a Spray Scrubber Using the Penetration Theory. Chemical Engineering Science, v.52, (18), pp.3085-3099, 1997.
- De Nevers, N. Air Pollution Control Engineering. New York: McGraw - Hill, 1995, 576 p.
- Golesworthy, T. Flue Gas Cleaning Review: Part 3. Filtration and Separation, v.14, pp.162-165, 1999.
- Krissmann, M., Siddiqir, M. A., Lucas, K. Thermodynamics of SO₂ Absorption in Aqueous Solution. Chem.Eng.Technol., v.21, (8), pp.641-644, 1998.
- Pinilla, E. A., Díaz, J. M., Coca, J. Mass transfer and axial dispersion in a spray tower for gas-liquid contacting. The Canadian Journal of Chemical Engineering, v.62, pp. 617-622, 1984.
- Schmidt, B., Stichlmair, J. Two-Phase Flow and Mass Transfer in Scrubbers. Chem.Eng.Technol., v.14, pp.162-165, 1991.