

EMISSÕES POLUENTES NA COMBUSTÃO DO CARVÃO MINERAL CE4500 EM REATOR DE LEITO FLUIDIZADO ATMOSFÉRICO BORBULHANTE

Manoel Carlos Diniz Costa

Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - Av. Trabalhador São carlense, n°. 400, 13566-590, São Carlos – SP, Brasil
mcdcosta@petrobras.com.br

Julio Edgardo Lindo Samaniego

Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - Av. Trabalhador São carlense, n°. 400, 13566-590, São Carlos – SP, Brasil
jelindo@sc.usp.br

Fernando Eduardo Milioli

Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - Av. Trabalhador São carlense, n°. 400, 13566-590, São Carlos – SP, Brasil
milioli@sc.usp.br

Josmar Davison Pagliuso

Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - Av. Trabalhador São carlense, n°. 400, 13566-590, São Carlos – SP, Brasil
josmar@sc.usp.br

Resumo. Avaliou-se as emissões dos gases poluentes SO_2 , CO_2 , CO e NO_x na combustão do carvão com absorção de SO_2 por calcário na planta piloto para combustão em leito fluidizado atmosférico borbulhante do NETeF. Utilizou-se um carvão mineral CE4500 (Carvão Energético com poder calorífico superior médio de 4500 kcal/kg) procedente da região de Criciúma - SC, com 2,3% de enxofre, 31,6% de cinzas, e diâmetro médio de particulado de 425 μm . Utilizou-se o calcário dolomítico DP procedente de Ipeúna - SP, com 16,2% de cálcio, 10,1% de magnésio, e diâmetro médio de particulado de 400 μm . A planta piloto tem reator de seção transversal quadrada de 0,5 x 0,5 m, e nele foram controlados o excesso de ar, a velocidade de fluidização (U/U_{mf}), a granulometria do particulado e a temperatura do processo. A variável principal de análise foi a relação Ca/S de alimentação; empregou-se relações Ca/S de 2, 3, 4 e 5, a uma temperatura do leito em torno de 850 °C. Foram medidas as concentrações de gases na descarga do reator (SO_2 , O_2 , CO , CO_2 e NO_x), e foram determinadas distribuições granulométricas e composições químicas dos materiais do leito, sangrado e elutriado. Determinou-se conversão, taxa de conversão e coeficiente global de taxa de reação na sulfatação para os vários casos. As emissões de SO_2 caíram de forma assintótica com o aumento da relação Ca/S de alimentação. Um aumento de Ca/S de 3 para 5 (67%) produziu um ganho na eficiência de absorção entre 4 e 21 %. Observou-se que as emissões de NO_x cresceram levemente com o aumento da relação Ca/S de alimentação. Isto está em acordo com a literatura, que atribui este fato ao efeito catalisador do CaO na geração de NO_x via redução por CO.

Palavras chave: Carvão, calcário, leito fluidizado, dióxido de enxofre.

1. Introdução

Devido às freqüentes oscilações econômicas internacionais, existe uma necessidade para desenvolvimento de técnicas visando um melhor aproveitamento dos potenciais energéticos disponíveis. O carvão mineral nacional pode ser uma alternativa importante para a solução do problema energético do Brasil, representando mais de 60% das reservas energéticas não renováveis conhecidas do país. Entretanto, existe um problema já conhecido na utilização do carvão nacional. Os carvões brasileiros podem ser classificados como betuminosos e sub-betuminosos com altos teores de cinzas e enxofre mostrando características de difícil operacionalidade, gerando problemas de aplicabilidade econômica e resultados pouco eficazes.

Para a utilização do carvão mineral nacional emprega-se técnicas para seu beneficiamento com o objetivo de reduzir drasticamente esses teores. A combustão em suspensão é o método empregado para a queima do carvão (Costa, 2005; Da Silva Filho, 2002 e Tureso, 2004).

1.2 Combustão em leito fluidizado

A partir dos anos 50 na França e depois no anos 60 no Reino Unido aparecem nova tecnologia de queima em

suspensão como alternativa ao processo de queima de carvão pulverizado, ganhando impulso as pesquisas relativas à combustão do carvão em leito fluidizado. O processo de combustão em leito fluidizado é particularmente adequado para esses carvões devido à possibilidade de controle “*in loco*” de emissões de gases poluentes e devido à não fusão de cinzas. O enxofre liberado na combustão é continuamente absorvido por aditivos calcários, com índices de remoção superiores a 90 %, sendo que as cinzas de carvão e o calcário sulfatado que são descartados no processo, podem ser aproveitados como insumos na indústria do cimento (Costa, 2005; Crnkovic, 2003 e Michels, 2004).

No Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos (NETeF) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP), encontra-se em andamento um extenso programa de pesquisa na área de energia. Espera-se contribuir na utilização racional dos carvões minerais brasileiros para a geração termoelétrica, com enfoque principalmente na contenção de emissões poluentes.

Neste trabalho apresenta-se uma planta piloto para combustão de carvão mineral. O combustor é de leito fluidizado borbulhante atmosférico e a ênfase dos trabalhos é na redução da emissão de poluentes atmosféricos. Determinou-se a redução nas emissões de SO₂ para relações Ca/S de 1,2,3 e 4. Também foram avaliadas as emissões de CO₂, CO, NO_x, O₂ e as quantidades de cinzas e particulado elutriado durante nos gases de descarga

2. Processo de absorção do SO₂ pelo calcário no interior do leito fluidizado

O processo de absorção do SO₂ no interior do leito fluidizado pode ser descrito pela calcinação e sulfatação do calcário. As reações de calcinação e sulfatação podem ser representadas de forma geral pelas Eqs. (1) e (2) respectivamente. Ao adentrar o leito, o calcário calcina formando o sólido óxido de cálcio (CaO) com a liberação do dióxido de carbono (CO₂). O CaO reage com SO₂, liberado na combustão do carvão, formando o sólido sulfato de cálcio (CaSO₄) (Dennis, 1987; Dennis, 1990 e Moss, 1980).



O mecanismo de sulfatação é controlado basicamente pela difusão de SO₂ na emulsão, que se pode descrever como a difusão do SO₂ através de poros das camadas reagidas de sulfato de cálcio (CaSO₄), e pela cinética das reações químicas envolvidas.

Para temperaturas abaixo de 865 °C todas as reações do processo de desulfuração por calcário desenvolvem de forma significativa. Para baixas temperaturas a cinética das reações químicas controla a reação e em temperaturas mais elevadas, o controle da reação é dado pela difusão na fase sólida (Dennis, 1990).

Num reator de leito fluidizado, estes fatores dependem, em maior ou menor intensidade: do tipo, tamanho e distribuição granulométrica de partículas de calcário; de suas propriedades físicas e químicas; da temperatura e pressão de operação do processo; da atmosfera da reação; do tipo de combustível; do processo de combustão; da geometria do reator e da velocidade superficial de fluidização (Costa, 2005; Crnkovic, 2003; Da Silva, 2003 e Samaniego, 2003).

As variáveis mais importantes que afetam a formação de SO₂ são: relação Ca/S que é alimentado no leito; temperatura do leito; tipo de calcário; diâmetro da partícula; concentração do O₂ no leito e quantidades do S geradas no processo de combustão (Henttonen, 1991). Quando a temperatura do leito é muito alta (acima de 900 °C) pode ocorrer re-missão de SO₂ do calcário sulfatado, sendo então lançado na atmosfera (Michels Jr., 2004). Para alta concentração de O₂ no leito, incrementa-se a captura do enxofre, uma vez que o O₂ é necessário para o processo de sulfatação. Carvão e óleos combustíveis são os que contribuem mais na emissão de SO₂ (Henttonen, 1991).

Para emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x) a variável mais importante são: razão de ar primário/ar secundário; excesso de ar; temperatura do leito e quantidade de N no combustível (Henttonen, 1991).

Empregando-se condições típicas de combustão fluidizada (850-995 °C) à pressão atmosférica ou altas pressões (18 bar) o processo de calcinação de calcário, com diâmetro entre 0,4 e 2,0 mm, é controlada pela cinética da reação química numa interface bem definida entre a camada externa de CaO e o núcleo de CaCO₃ (Dennis, 2002).

Para temperatura acima de 520°C a geração de CaS se torna significativa, seguindo a reação global de sulfatação. Em temperaturas mais elevadas, o CaS reage com o SO₂ para formar S₂ e CaSO₄, e o CaSO₃ decompõe-se para formar CaS e CaSO₄. Essa decomposição provavelmente envolve etapas intermediárias e a geração de espécies descritas pela fórmula geral S_yO_xⁿ⁻ (Dennis, 2002).

3. Planta experimental e procedimento

3.1. Planta experimental

Na Figura 1 apresenta-se o esquema do reator de leito fluidizado borbulhante atmosférico em escala piloto. O reator piloto é composto por cinco seções, e está montada na área interna do NETeF. O módulo inferior do reator foi construído em aço inoxidável 304, resistente a altas temperaturas. Possui seção quadrada com lado interno medindo 0,5 m, com espessura de parede de 0,005 m, e altura total de 3 m. No módulo do leito existem oito tomadas para sondas de temperatura e pressão, e oito tomadas para sondas de amostragem de gases. Os outros módulos do reator constituem

o “freeboard” e são construídos de aço carbono. Cada módulo do “freeboard” possui 3 tomadas para sondas de pressão, temperatura ou amostragem de gases. O reator possui um “plenum” por onde o ar de fluidização é admitido e em seguida é introduzido no leito através de uma placa de injetores do tipo torre. Esses injetores permitem a manutenção de uma camada de sólido inerte acima da placa, que fica isolada eliminando a necessidade do resfriamento da mesma. O distribuidor além do ar de fluidização, permite a injeção de gás combustível para pré-aquecimento do leito através de uma bateria de agulhas inseridas nos injetores. O carvão e o calcário são armazenados em silos com capacidade de até 500 kg, e são alimentados por gravidade através de válvulas rotativas em pontos laterais no primeiro módulo do “freeboard”. Os silos de alimentação têm ângulo de alimentação favorável. Os recipientes de cinzas são vedados para inibir reações químicas e entrada/saída de ar do reator. Para retenção de material particulado nos gases de descarga foi utilizado um filtro de mangas. O reator também dispõe de torres de resfriamento de água, balões de ar comprimido e ventiladores especiais para fornecimento de ar de fluidização e arrefecimento dos motores das válvulas rotativas. Para medição contínua dos gases de escape utilizou-se analisadores de gases HORIBA para CO₂, CO, NO_x, O₂ e SO₂. As temperaturas foram medidas por um termopar tipo K inserido dentro do leito. O termopar embora protegido da erosão do leito estava sobre as condições atmosféricas de combustão. As velocidades de fluidização eram medidas por placa de orifício de canto vivo.

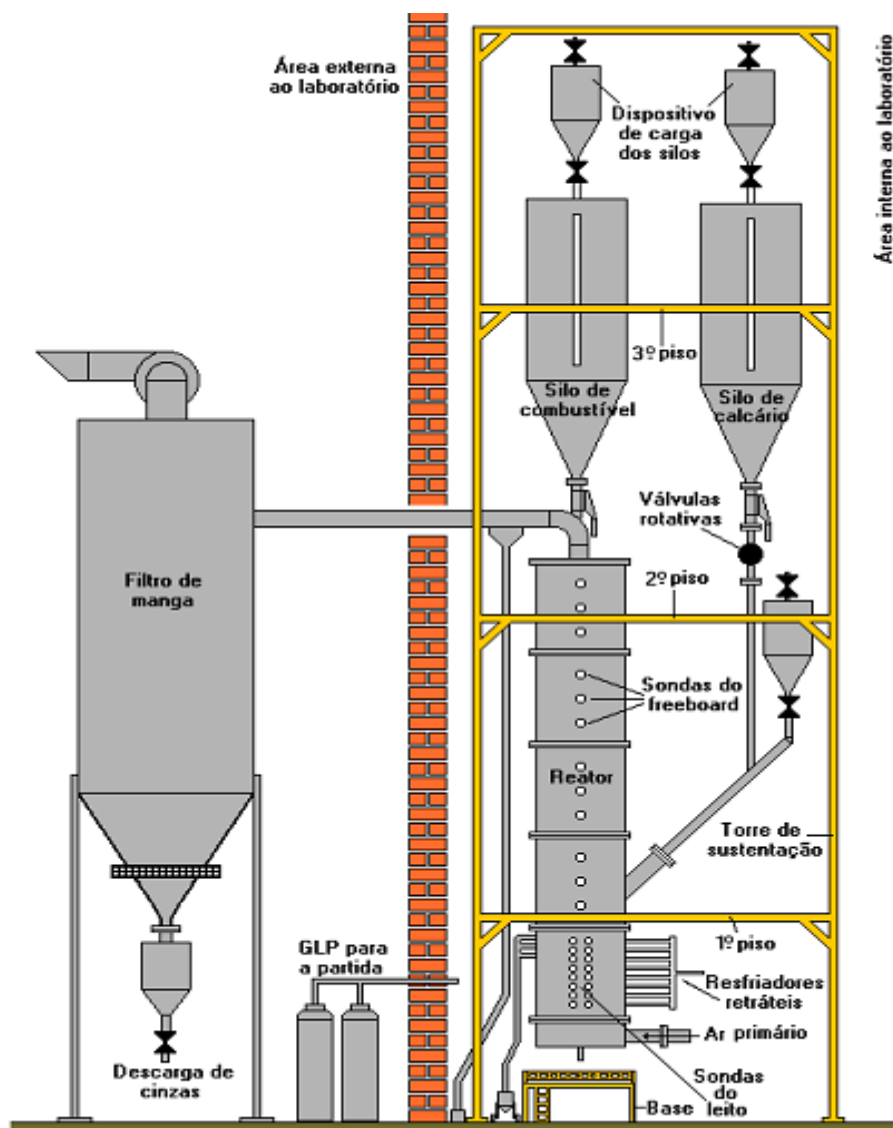


Figura 1: Esquema da planta piloto para combustão de carvão em leito fluidizado borbulhante

3.2. Procedimento

O reator foi carregado com cerca de 100 kg de areia (99% sílica) de 500 µm de diâmetro médio. A composição química do carvão mineral CE-4500 de diâmetro médio de particulado de 425 µm e do calcário dolomítico de Ipeuna de

diâmetro médio de particulado de 400 μm , são apresentados na tabela 1 e tabela 2

Tabela 1 – Composição do carvão CE-4500

Carvão	C	S	Voláteis	Cinzas
%	40	2,3	25,6	31,6

Tabela 2 – Composição do calcário Dolomítico

Calcário	Ca	Mg
%	16,2	10,1

O aquecimento do leito foi realizado com gás liquefeito de petróleo (GLP) até cerca de 700 °C. Neste ponto, com leito fluidizado com $U=0,35$ m/s, a alimentação de gás foi cortada e iniciada a alimentação de carvão mineral. Procedeu-se as devidas ajustagens até que o reator atingiu a condição de regime, ou seja, $T=870$ °C; $U=0,60$ m/s e alimentação mássica do carvão de 23 kg/h, tendo para elutriação e drenagem do leito igual a 6,1 e 13,0 kg/h, respectivamente.

As condições experimentais de cada teste são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – Condições operacional da Planta Piloto

Temperatura do leito	811 a 886 °C (em média 850 °C)
Velocidade de fluidização	0,56 a 0,60 m/s
Velocidades de fluidização/ de mínima fluidização	9,1 a 9,8
Granulometria do calcário	400 μm (média)
Granulometria do carvão	425 μm (média)
Taxa de alimentação de calcário	1,15 a 5,55 g/s
Taxa de alimentação de carvão	6,37 a 7,66 g/s

A seguinte simbologia é utilizada nas equações abaixo:

A	Área da seção transversal do leito fluidizado, m^2
F	Taxa de alimentação de carvão ou calcário no reator de leito fluidizado, kg/s
K	Coefficiente global de taxa de sulfatação ou de combustão, m/s
M	Massa de calcário ou carvão no reator em regime permanente de operação, kg
r	Radio de partícula, m
R	Taxa de absorção de SO_2 por calcário, $kmol_{SO_2}/s$
U	Velocidade superficial de fluidização, m/s
W	Peso molecular, $kg/kmol$
X	Conversão na absorção de SO_2 , $kmol_{SO_2}/kmol_{Ca+Mg}$
Y	Fração volumétrica de gás (m_i^3 / m^3) ou mássica de sólido, (kg_i/kg)
$Y_{SO_2}^A$	Fração em volume de SO_2 na descarga da planta com injeção de calcário, adm
$Y_{SO_2}^C$	Fração em volume de SO_2 na descarga da planta sem injeção de calcário, adm
ρ	Massa específica, kg/m^3

Definiu-se conversão na sulfatação, X_s , como a razão entre a taxa molar de SO_2 absorvido e a taxa molar de alimentação de $Ca+Mg$ no calcário. Através de balanços de massa no reator para SO_2 , determina-se:

$$X = \frac{U \cdot A \cdot (Y_{SO_2}^C - Y_{SO_2}^A) \cdot \frac{\rho_{SO_2}}{W_{SO_2}}}{F_A \cdot \left(\frac{Y_{Ca}}{W_{Ca}} + \frac{Y_{Mg}}{W_{Mg}} \right)} \quad (3)$$

Para um estado termodinâmico, no leito executam-se reações heterogêneas, sendo estas dependentes da concentração do gás reagente (SO_2 na sulfatação) e da massa do sólido reagente. Assumindo-se que o transporte de massa no gás em torno das partículas reativas do leito seja basicamente difusivo, então a taxa de absorção de SO_2 no leito resulta:

$$R_{SO_2} = \frac{3M_A}{\rho_A r} K_S Y_{SO_2, \infty} \frac{\rho_{SO_2}}{W_{SO_2}} \quad (4)$$

Onde os coeficientes globais de taxa de reação são dados, respectivamente, por

$$K = \frac{\rho_A \cdot r}{3 \cdot M_A} \cdot U \cdot A \cdot \frac{(Y_{SO_2}^C - Y_{SO_2}^A)}{Y_{SO_2, \infty}} \quad (5)$$

Considerando o leito fluidizado bem misturado e toda a absorção ocorrendo no leito, então: $Y_{SO_2, \infty} \rightarrow Y_{SO_2}^A$ [5].

Em processos de regime permanente de operação para diferentes relações Ca/S de alimentação e excessos de ar, mediu-se concentrações de descarga de SO₂. A eficiência de remoção de SO₂ foi determinada por:

$$\eta_{SO_2} = \frac{(Y_{SO_2}^C - Y_{SO_2}^A)}{Y_{SO_2}^C} \cdot 100 \quad (6)$$

4. Resultados e discussão

Os resultados das emissões de gases são apresentados nas Figs. de 2 a 7. Nos testes de combustão de carvão com injeção de calcário no reator de leito fluidizado Piloto do NETeF empregou-se relações molares de Ca/S na faixa de 1 a 4. Observa-se que o volume molar do sulfato de cálcio (CaSO₄) é maior comparado que volume molar do carbonato de cálcio (CaCO₃), sendo que a absorção completa do SO₂ pelo calcário é praticamente impossível, ocorrendo a sulfatação preferencialmente na camada exterior do particulado CaO (Tarelho, 2005). Na Fig. 2 nota-se a redução do SO₂ com o aumento de Ca/S, caindo a emissão de SO₂ de forma assintótica. O resultado alcançado para uma relação de Ca/S igual a 2, é considerado bom do ponto de vista econômico, pois experimentalmente representa um consumo de calcário de 35,4 % da alimentação de carvão (Costa, 2005 e Tureso, 2004).

Observa-se na Fig. 3, que as emissões de NO_x crescem levemente com o aumento da relação Ca/S de alimentação. Isto está em acordo com a literatura, que atribui este fato ao efeito catalisador do CaO na geração de NO_x via redução por CO (Amand, 1993; Amand, 1994; Dam-Johansen, 1993; Hansen, 1992 e Tarelho, 2006). Os teores de O₂ mostrado na Fig. 4 resultaram em torno de 3,5 %. As emissões de CO₂ crescem com o aumento da relação Ca/S devido à calcinação mais intensa e possivelmente também devido à crescente utilização de CO na redução do NO_x catalisada pelo CaO. Isto é mostrado na Fig. 6, onde o valores aumentaram a partir de 15 % (para relação de Ca/S=0) até cerca de 17 % (para relação Ca/S=4). Este aumento observado foi devido ao processo de calcinação do calcário que libera CO₂.

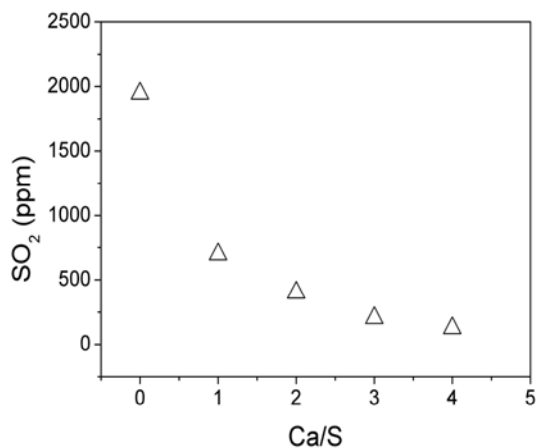


Figura 2. Fração de SO₂ na descarga em função da relação de Ca/S de alimentação, para a planta piloto.

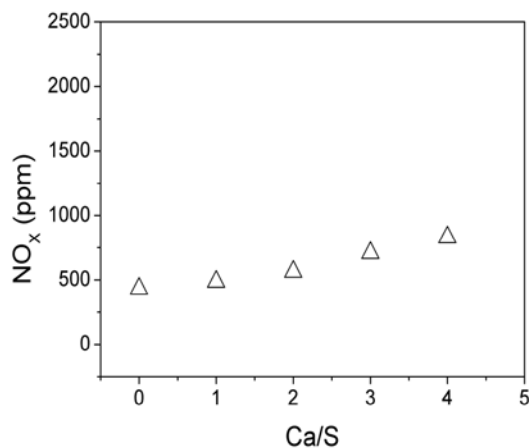


Figura 3. Fração de NO_x na descarga em função da relação Ca/S de alimentação, para planta piloto

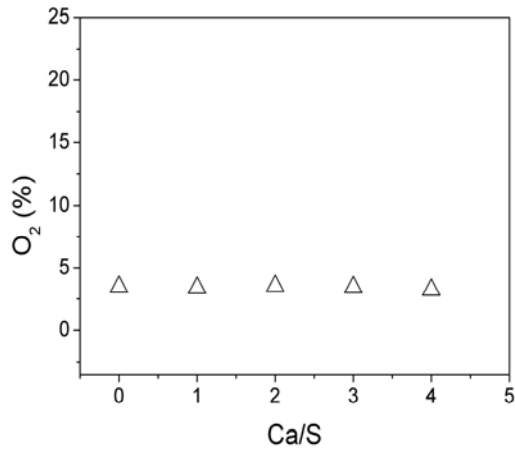


Figura 4. Fração de O₂ na descarga em função da relação de Ca/S de alimentação, para a planta piloto.

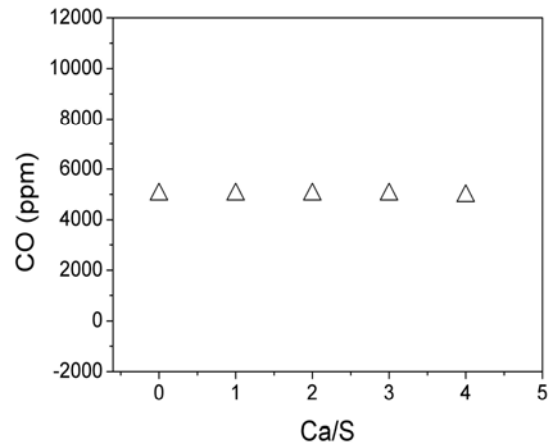


Figura 5. Fração de CO na descarga em função da relação Ca/S de alimentação, para a planta piloto.

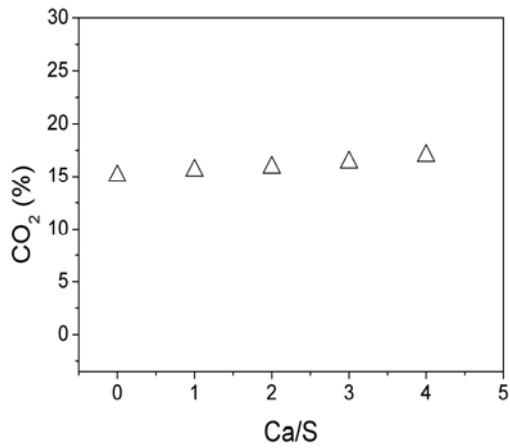


Figura 6. Fração de CO₂ na descarga em função da relação de Ca/S de alimentação, para a planta piloto.

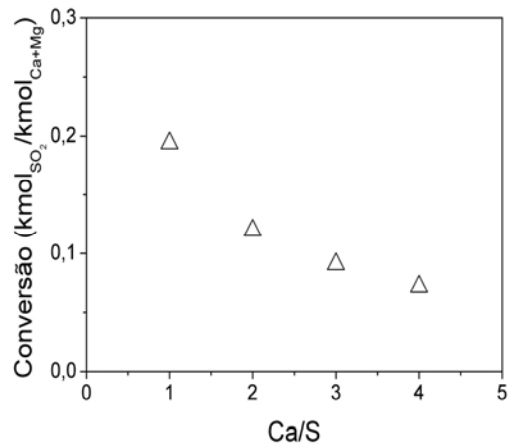


Figura 7. Conversão na absorção de SO₂ por calcário em função da relação Ca/S de alimentação, para a Planta.

Na combustão de carvão sem injeção de calcário obteve-se conversões entre 83 a 86 %. Isto é observado na Fig. 7.

Em ambos os casos as perdas devem-se a "overflow" de particulado para manutenção da altura do leito e à elutriação de particulado.

Na Figura 8, o coeficiente global de taxa de sulfatação aumentou em função do aumento da relação Ca/S na alimentação, sendo um aumento moderado. Este mesmo comportamento é observado na Fig. 9 com relação a eficiência de absorção de SO₂.

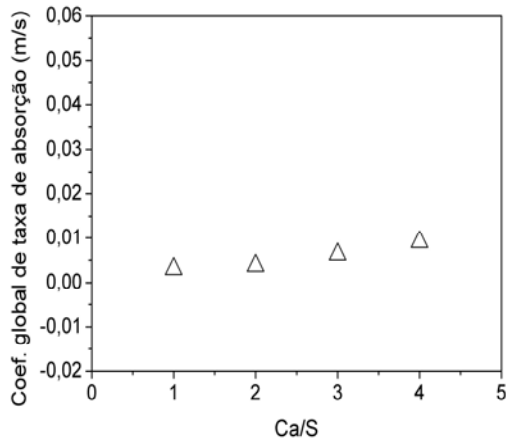


Figura 8. Coeficiente global de taxa de reação na absorção de SO₂ por calcário em função da relação Ca/S de alimentação, para a planta piloto.

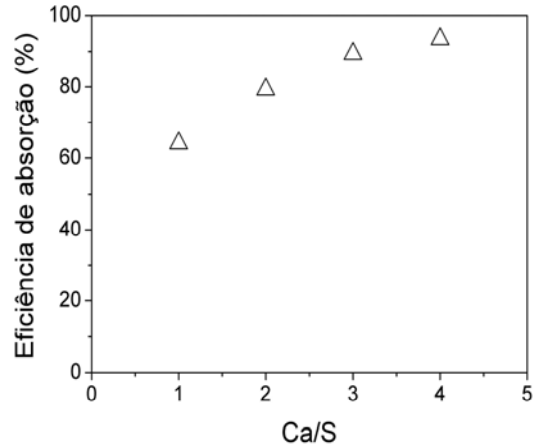


Figura 9. Eficiência de absorção de SO₂ por calcário em função da relação Ca/S de alimentação, para a planta piloto.

Na Tabela 2 apresenta-se o resumo dos resultados obtidos nos testes.

Tabela 2 – Resumo dos resultados obtidos na Planta Piloto

	CaS0C64L00	CaS1C64L11	CaS2C64L23	CaS3C64L35	CaS4C64L46
Ca/S	0	1	2	3	4
SO ₂ (ppm)	1946	698	402	206	126
NO _x (ppm)	432	487	563	709	831
CO (ppm)	4996	4995	4996	4996	4934
CO ₂ (%)	15,07	15,60	15,87	16,37	16,99
O ₂ (%)	3,48	3,39	3,54	3,45	3,24
X	0,00	0,194	0,120	0,091	0,072
K (m/S)	0,00	0,0031	0,0038	0,0063	0,0091
Abs_SO ₂	0,00	64,1	79,3	89,4	93,5

Observa-se que a nomenclatura utilizada nos testes apresentada na Tab. 2 é dado o seguinte significado, por exemplo: CaS1C64L11 como sendo: CaS1 é relação Ca/S=1; a taxa de alimentação de carvão C059= 0,59 g/s e a taxa de alimentação de calcário L022=0,22g/s.

4. Conclusões

A planta piloto operou em condição de regime praticamente permanente. A relação Ca/S como já era esperado, apresentou efeito significativo no processo de absorção de SO₂ por calcário, principalmente para relações de Ca/S entre 0 e 2 e relações de Ca/S entre 0 e 3, cuja redução na concentração de SO₂ chega a 79 e 85 %, respectivamente. Comparando-se a relação Ca/S de 0 a 4, embora apresente redução de 89 % de SO₂, o acréscimo na redução é de apenas quatro pontos percentuais entre os níveis 3 e 4.

O aumento na concentração de CO₂ foi devido ao processo de calcinação do calcário foi relativamente baixo, considerando-se uma relação de Ca/S igual a 2.

Foi significativo o aumento da concentração de NO_x, devido ao componente do calcário que ajuda na formação de NO_x.

A conversão diminuiu com o aumento da relação Ca/S devido à maior quantidade de massa de calcário no leito. As perdas devem-se a “*overflow*” do particulado para manutenção da altura do leito, e à elutriação de particulado.

O coeficiente global de taxa de reação aumentou com aumento da relação Ca/S, pois a taxa de reação é diretamente proporcional à massa de calcário que se encontra no leito e à relação entre as concentrações inicial e final de SO₂.

5. Referências

- Amand L-E, Leckner B, Dam-Johansen. *Fuel* 1993;72(4):557.
- Amand L-E, PhD Thesis. Chalmers University of Technology, Sweden; 1994.
- Camargo, F.L. ,2001. Qualificação de Calcário Brasileiro Quanto à Absorção de SO₂ em Leito Fluidizado para Condições Típicas de Combustão de Carvão. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 131 p.
- Costa, M.C.D. ,2000. Efeito da Temperatura sobre a Conversão e o Coeficiente Global de Taxa de Reação na Absorção de SO₂ por Calcário em Reator de Leito Fluidizado. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos,
- Costa, M. C. D. ,2005. Emissões poluentes na combustão em leito fluidizado de carvão mineral. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Escola de engenharia de São Carlos, 114p.
- Crnkovic, P.C.G.M. (2003). Análise Termogravimétrica para a Determinação de Fatores que afetam a Eficiência de Sorção de SO₂ por Calcário na Combustão de Carvões. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, 127p.
- Dam-Johansen K, Amand L-E, Leckner B. *Fuel* 1993; 72(4):565.
- Da Silva, F.F. ,2003. Efeito da Distribuição Granulométrica do Calcário na Absorção de SO₂ em Reator de Leito Fluidizado. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos,114p.
- Da Silva, G.F. ,2001. Efeito de Granulometria de Calcário Sobre a Conversão e o Coeficiente Global de Taxa de Reação na Absorção de SO₂ em Reator de Leito Fluidizado. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 140 p.
- Da Silva Filho, C.G. ,2002. Estudo Cinético-Químico na Isotérmico e Caracterização da Combustão de um Carvão CE4500. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 63p.
- Dennis, J. S. And Hayhurst, A. N., The Effect of CO₂ on the Kinetics and Extent of Calcination of Limestone and Dolomite Particles in Fluidised Beds, *Chemical Engineering Science*, 42(1987) 2361-2372.
- Dennis, J.F. and Hayhurst, A.N. ,1990. "Mechanism of the Sulphation of Calcined Limestone Particles in Combustion Gases". *Chemical Engineering Science*, Vol. 45, No 5, p. 1187-1990.
- Hansen PFB, Dam-Johansen K, Johnsson JE, Hulgaard T. *Chem Eng Sci* 1992; 47(9-11):2419.
- Henttonen, J. , Kojo, I.V. and Kortela, U., 1991.Optimising Control of NO_x and SO₂ emissions in the FBC process. This paper was present at the conference on Fluidised Bed Combustion, London, December 1991.
- Howard, J.R. 1989. Fluidized bed technology: principles and applications. New York, Adam Hilger, 214 p.
- Klaus, S., Winfried, W., Gerd, R. and Karl, S., 1989. Spatial distributions of O₂, CO₂ and SO₂ in a pilot-scale fluidized bed combustor operated with different coals, *Institut für Technische Chemie, Universität Hannover, Callinstr. 3, 3000 Hannover I, FRG*, Vol 68.
- Michels, J.R.,2004. Influência da Temperatura Sobre a Absorção de SO₂ por calcários na Combustão em Leito Fluidizado de Carvão Mineral. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 140 p.
- Milioli, F. E. , 1996. Atmospheric Bubbling Fluidized Bed Combustion: Application to High Ash Coals and Approach to Scientific Research, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, 18127-142.
- Moss, G.,The Mechanisms of Sulphur Absorption in Fluidised Beds of Lime, *Institute of Fuel Symposium Series*, No 1: Fluidised Combustion, London, 1980, pp. D2/1-9.
- Samaniego, J.E.L., 2003. Efeito da Concentração de SO₂ nas Reações de Calcinação e Sulfatação de Calcários em Reator de Leito Fluidizado. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 116 p.
- Tarelho, L.A. C. , Matos, M.A.A. and Pereira, F.J.M., 2005."The Influence of Operational Parameters on SO₂ removal by Limestone During Fluidised Bed Coal Combustion". *Fuel Processing Technology*, Vol. 86; p. 1385-1401.
- Tarelho, L.A. C. , Matos, M.A.A. and Pereira, F.J.M., 2006."Influence of Limestone Addition on the Behaviour of NO and N₂O During Fluidised Bed Coal Combustion. *Fuel Processing Technology*, Vol. 85; p. 967-977.
- Tureso, J.P., 2004. Estudo de uma Planta Piloto para a Combustão em Leito Fluidizado de Carvões Minerais Brasileiros. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 118 p.

6. Agradecimentos

Agradecemos à FAPESP-CNPQ-CAPES-PRONEX pelo apoio financeiro dado a este trabalho.

Polluted emission in mineral coal combustor CE4500 in atmospheric bubbling fluidized bed coal

Manoel Carlos Diniz Costa

Group and Thermal and Fluids Engineering, School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, Av.

Trabalhador São carlense,400 – 13566-590, São Carlos – SP, Brazil
medcosta@petrobras.com.br

Julio Edgardo Lindo Samaniego
Group and Thermal and Fluids Engineering, School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, Av.
Trabalhador São carlense,400 – 13566-590, São Carlos – SP, Brazil
jelindo@sc.usp.br

Fernando Eduardo Milioli
Group and Thermal and Fluids Engineering, School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, Av.
Trabalhador São carlense,400 – 13566-590, São Carlos – SP, Brazil
milioli@sc.usp.br

Josmar Davison Pagliuso
Group and Thermal and Fluids Engineering, School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, Av.
Trabalhador São carlense,400 – 13566-590, São Carlos – SP, Brazil
josmar@sc.usp.br

Abstract

The SO₂, CO₂, CO and NO_x polluted gases emission were evaluated in coal combustor with absorption of SO₂ by means of limestone in the pilot-plan for combustor in atmospheric bubbling fluidized bed coal of NETeF. The CE4500 mineral coal (energetic coal with upper average calorific power of 4500 kcal/kg) from of Criciúma region was utilized, with 2.3% of sulfur, 31,6% of ashes, and average diameter of particle of 425 um. The dolomite limestone DP from Ipeúna- SP was utilized with 16.2% of coal, 10.1% of magnesium, and average diameter of particle of 400 um. The pilot-plan has a reactor of square cross-section of 0,5*0,5 m in which it were controlled the excess air level, the velocity of fluidization (U/U_{mf}), the size of particle grain and the temperature of process. The main variable of analysis was the supplies relation Ca/S. The relationship of 2, 3, 4 and 5 Ca/S at temperature of bed around 850°C was used. Concentration discharge gases of reactor were measured and distribution of size grain and chemical composition of the material bed, removal and global coefficient of reaction of sulfation for many cases were determinated. The SO₂ emission dropped in asymptotic way for the increment of supplies of rate Ca/S. Increasing Ca/S from 3 to 5 (67%) resulted in a gain of efficiency of absorption between 4 to 21%. The emission of NO_x increased lightly by the increment of supplies Ca/S. That result is agreement with current publication, which it attributes this fact to the catalyst effect of CaO to generation of NO_x by means of reduction of CO

Keywords: coal, limestone, fluidized bed, sulfur absorption.