INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO CARVÃO NA GASEIFICAÇÃO EM LEITO FLUIDIZADO BORBULHANTE

Fernando Dias Sá [1]

Íris Nunes Raupp [2]

Ana Rosa Costa Muniz [3]

Resumo:

A gaseificação é o processo tecnológico que visa a conversão de carvão em gás combustível, proveniente de reações sólido-gás e gás-gás. O carvão mineral de Candiota foi oxidado por ar em quantidade sub estequiométrica, usando ar como agente gaseificante A gaseificação foi conduzida em leito fluidizado borbulhante, usando como areia de quartzo 40/50 como agente fluidizante inerte. A areia foi fundamental para promover tanto a homogeneização da mistura quanto a maior troca térmica durante as reações sólido-gás. As variáveis estudadas foram a temperatura ao longo do leito, o fluxo de ar, a vazão de alimentação de carvão e o tamanho de partícula. Esse trabalho teve por objetivo estudar a influência do tamanho da partícula sobre a fluidodinâmica da gaseificação, alimentando uma classe de carvão particular, com alto teor de cinzas, voláteis e umidade como é o carvão da jazida de Candiota, no Rio Grande do Sul, no Brasil. Foi utilizado carvão pulverizado em moinho de martelos, no Laboratório de Energia e Carboquímica da UNIPAMPA, e, carvão britado, recebido diretamente da Companhia Rio Grandense de Mineração. Os perfis de temperatura e pressão foram obtidos on line. A gaseificação com o carvão pulverizado apresentou problemas de alimentação, devido a aglomeração e compactação de carvão causando o entupimento da válvula rotativa de alimentação de carvão, que opera de continuamente. O carvão britado permitiu operar o gaseificador de forma satisfatória, atingindo o estado estacionário.

Palavras-chave: Gaseificação, Carvão Mineral, Granulometria

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO CARVÃO NA GASEIFICAÇÃO EM LEITO FLUIDIZADO BORBULHANTE

[1] Aluno de graduação. fe.dias.sa@gmail.com. Autor principal

[2] Aluno de graduação. irisraupp@gmail.com. Co-autor

[3] Docente. ana.muniz@unipampa.edu.br. Orientador

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO CARVÃO NA GASEIFICAÇÃO EM LEITO FLUIDIZADO BORBULHANTE

1. INTRODUÇÃO

A gaseificação é o processo tecnológico que visa a conversão de carvão em gás combustível, sob condições de oxigênio sub-estequiométrico promovendo reações sólido-gás e gás-gás. De acordo com Lee et al., (1998), o processo de gaseificação ocorre em quatro etapas sendo elas: secagem (T < 150 °C), desvolatilização (150 °C ≤ T ≤ 700 °C), combustão (700 °C ≤T≤ 1500 °C) e gaseificação (700 ≤ T ≤ 1100 °C). O gaseificador, usado nesse trabalho, é do tipo leito fluidizado borbulhante, escolhido em função das características do carvão mineral da jazida de Candiota-RS (SÁ, 2016), sub-betuminoso de alto volátil.

Esse trabalho teve por objetivo estudar a influência da granulometria do carvão da jazida de Candiota, na operação de uma planta piloto de gaseificação, existente no laboratório de energia e carboquímica da Unipampa. Foram testadas duas granulometrias de carvão, pulverizado e britado. As duas granulometrias foram analisadas quanto ao seu efeito sobre a alimentação do reator e também sobre os perfis de temperatura e pressão ao longo do reator.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi dívida em duas etapas. A primeira etapa consistiu na moagem e caracterização granulométrica do carvão mineral, que foi classificado como pulverizado ou britado. Na segunda etapa foi conduzida a gaseificação do carvão em ambas as granulometrias, usando as mesmas condições operacionais, e realizada a análise dos perfis de temperatura e pressão ao longo do reator.

2.1 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

O carvão mineral, de forma heterogênea, é fornecido pela Companhia Rio-grandense de Mineração (CRM). Parte desse carvão é moído, em moinho de martelos, (carvão pulverizado), enquanto outra parte é apenas peneirada, usando peneiras da série *Tyler* números 5, 6, 9, 16, 32, 60, 115 e 270 (carvão britado). O carvão pulverizado é peneirado usando a série de peneiras *Tyler* números 12, 14, 24, 60, 80, 100, 200 e 325.

2.2 GASEIFICAÇÃO

Para *start up* da gaseificação foi adicionado ao leito, em modo batelada, 6 L de areia de quartzo 40/50 e 2 L de carvão. Uma resistência elétrica é acionada, para fornecer o calor necessário ao início da reação. Ao mesmo tempo, é ligado um compressor de ar, numa vazão de 11 Nm^3/h, que é responsável pela fluidização do leito e pela injeção de oxigênio no reator.

Em aproximadamente 350 °C, a reação se torna autossustentável termicamente e a resistência é desligada. Nesse momento é iniciada a alimentação

de carvão. O sistema de alimentação é composto por um parafuso de rosca sem fim, localizado no interior de um silo de armazenamento de carvão. A velocidade de rotação do parafuso é controlada, sendo ajustada para 12 Hz, correspondente à vazão de aproximadamente 6 kg/h de carvão. O carvão, proveniente do silo, alimenta uma válvula rotativa e em seguida é transportado para dentro do gaseificador por meio de novo parafuso com rosca sem fim, esse de rotação constante.

Os perfis de temperatura e pressão são registrados *online*, via *software*, utilizando sensores de temperatura, do tipo termopar, e de pressão, através de transdutores distribuídos ao longo do leito do reator.

O gás produzido passa por um sistema de condensação composto por dois condensadores em série e uma centrífuga, para coleta dos voláteis condensáveis. O gás remanescente é enviado para um tanque pulmão e o excesso segue para queima num *flare*, localizado na extremidade da chaminé.

3. RESULTADOS e DISCUSSÃO

Os resultados da análise granulométrica para o carvão pulverizado estão representados na Tabela 1.

Tabela 1: Distribuição granulométrica do carvão pulverizado.

Tyler	Diâmetro superior (mm)	Diâmetro inferior (mm)	Média entre os diâmetros (mm) (d_i)	Massa retida (g)	Fração retida (X_i)	X_i/d_i (mm^{-1})
-12 +14	1,397	1,397	1,2825	10,66	0,0313	0,0244
-14 +24	1,168	1,168	0,9345	23,75	0,0696	0,0745
-24 +60	0,701	0,701	0,4745	120,45	0,3531	0,7442
-60 +80	0,248	0,248	0,2115	51,55	0,1511	0,7146
-80 +100	0,175	0,175	0,161	11,03	0,0323	0,2008
-100 +200	0,147	0,147	0,1105	46,76	0,1371	1,2406
-200 +325	0,074	0,074	0,0585	45,83	0,1344	2,2967
Fundo				31,81	0,0933	

Fonte: Autores (2017).

Os resultados da análise granulométrica para o carvão peneirado estão representados na Tabela 2.

Tabela 2: Fração mássica retida de carvão peneirado.

Tyler	Diâmetro superior (mm)	Diâmetro inferior (mm)	Média entre os diâmetros (mm) (d_i)	Massa retida (g)	Fração retida (X_i)	X_i/d_i (mm^{-1})
-5 +6	3,962	3,327	3,6445	23,08	0,046	0,013
-6 +9	3,327	1,981	2,654	75,12	0,15	0,057
-9 +16	1,981	0,991	1,486	98,09	0,196	0,132
-16 +32	0,991	0,495	0,743	73,86	0,148	0,199
-32 +60	0,495	0,248	0,3715	134,68	0,269	0,725
-60 +115	0,248	0,124	0,186	74,15	0,148	0,797
-115 +270	0,124	0,053	0,0885	19,4	0,039	0,438
Fundo				1,61	0,003	

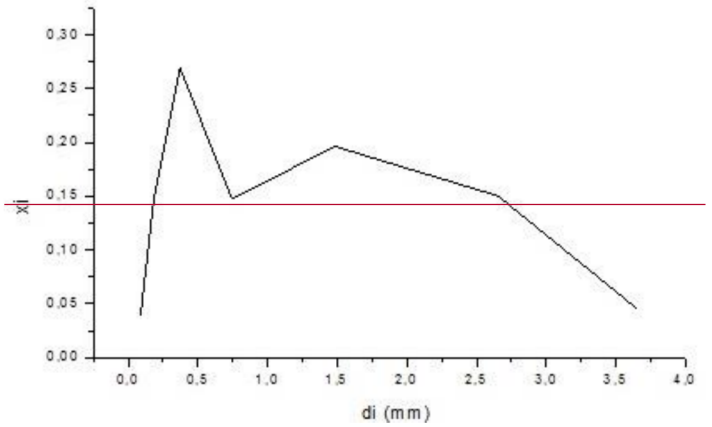
Fonte: Autores (2017).

As Tabelas 1 e 2 apresentam a relação entre a fração mássica retida em cada peneira e o seu diâmetro. Esses dados foram substituídos na Equação 1, para a obtenção do diâmetro médio de Sauter.

$$ds = \sum\left(\frac{1}{xi/di}\right) \quad (1)$$

O diâmetro médio de Sauter foi de 0,19 mm e 0,42 mm, para o carvão pulverizado e peneirado, respectivamente. As Figuras 1 e 2 mostram a distribuição granulométrica diferencial.

~~Figura 1. Distribuição granulométrica do carvão pulverizado.~~
~~Autores (2017).~~



~~Figura 2: distribuição granulométrica do carvão peneirado.~~
~~Autores (2017).~~

A distribuição granulométrica do carvão britado (peneirado) apresentou maior heterogeneidade de distribuição, com partículas variando de 0,05 até 3,5 mm. O carvão pulverizado mostrou-se mais homogêneo com tamanho de partículas dentro do intervalo de 0,05 a 1,3 mm.

Comparando as duas granulomentrias estudadas, notou-se que o carvão pulverizado não permitiu uma alimentação contínua de carvão, havendo uma queda de temperatura brusca após 30 min de reação, não atingindo o estado estacionário e

impossibilitando a coleta de dados *online*. Esse comportamento foi atribuído a aglomeração de carvão na válvula rotativa e na rosca de alimentação, impedindo a continuidade de alimentação do carvão, provavelmente devido ao alto teor de umidade do carvão mineral de Candiota, cerca de 16%. Foi trocado o parafuso transportador através de um novo passo de rosca, conforme mostrado nas figuras 1a e 1b, porém, obteve-se o mesmo efeito. Para o carvão britado, não ocorreu aglomeração de carvão entre o passo de rosca, tendo sido atingido o comportamento fluidodinâmico e de temperatura esperados no gaseificador e que são mostrados pelos perfis de pressão e temperatura exibidos nas Figuras 2a e 2b.



Figura 1. Parafuso transportador de carvão para o gaseificador. (a) Rosca projetada inicialmente. (b) Rosca substituta.

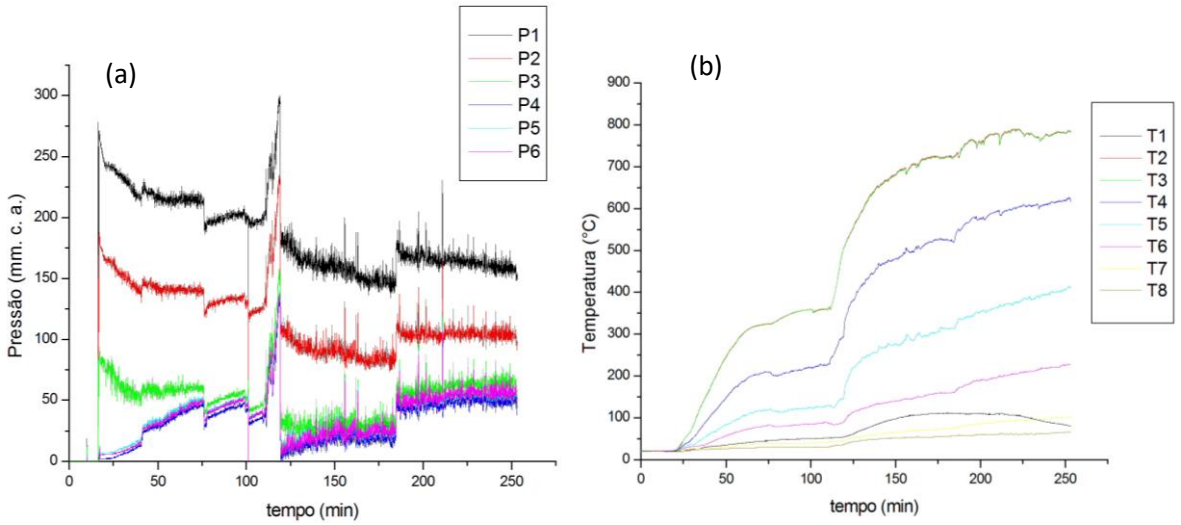


Figura 2. Dados coletados *online* durante a gaseificação do carvão britado (a) Perfil de pressão. (b) Perfil de temperatura.

A Figura 4a mostra máxima pressão P1, na entrada do gaseificador, antes da passagem pelo difusor de ar, quando ocorre grande perda de carga P2. As curvas de P2 e P3 são coincidentes mostrando boa fluidização na região de *Plenum*, onde ocorrem as etapas de desvolatilização e de combustão, do reator. P4, P5 e P6 correspondem as regiões de baixa pressão localizadas no *freeboard* do reator, zona de redução onde ocorrem as reações de gaseificação, saída do gaseificador e entrada na centrífuga. A Figura 4b, mostra o perfil de temperatura dentro do gaseificador, em que T1 é a temperatura mais baixa, correspondente ao ar na entrada

do gaseificador, T2 e T3 são coincidentes e consistem nas maiores temperaturas, correspondentes a região de entrada de carvão, onde ocorre a desvolatilização e reações de combustão. T4 é a temperatura na zona de redução, onde acontece a maioria das reações de gaseificação endotérmicas. As temperaturas T5 a T8 é mais baixas e situa-se na saída do syngas, do ciclone e da centrífuga, respectivamente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A granulometria do carvão mineral de Candiota-RS mostrou ser um fator determinante para a gaseificação, especialmente devido ao seu alto teor de umidade. A granulometria mínima, que possibilitou operar o gaseificador de forma satisfatória, com gradientes de pressão e temperatura esperados, e mostrados pelos perfis coletados *online*, foi para o diâmetro de Sauter de 0,42mm.

5. REFERÊNCIAS

COETZEE, S.; NEOMAGUS, H. W. J. P.; BUNTJ.R.; STRYDOM, C. A.; SCHOBERT, H. H. The transient swelling behaviour of large (- 20 + 16 mm) South African coal particles during low-temperature devolatilisation. Revista Fuel, n. 136, p. 79-88, 2014.

CREMASCO, M. A. Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2012. 133p.

LEE, J. M.; KIM, Y. J.; LEE, W. J.; KIM, S. D. Coal-gasification kinetics derived from pyrolysis in a fluidized-bed reactor. Energy, v. 23, n. 6, p. 475-488, 1998.

SÁ, F. D.; GUTERRES, F. P.; RAUPP, Í. N., MUNIZ, A. C. M.; RODRIGUES, R. Desenvolvimento e operação de uma planta piloto para gaseificação do carvão mineral de Candiota. In: Simpósio Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão; novembro 2016; Uruguaiana. Universidade Federal do Pampa; 2016