

FLOTACAO EM COLUNA DE REJEITOS DE CARVAO ORIUNDO DE PROCESSOS GRAVIMETRICOS DE BENEFICIAMENTO

I.A.S. de Brum¹, E. Girelli¹, L.G.M. de Jesus¹

¹Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Centro de Tecnologia, LAPROM. Avenida Bento Gonçalves, 9500. Caixa Postal 15021.
Porto Alegre, RS,91501-970. e-mail: irineu.brum@ufrgs.br

RESUMO

O Brasil tem grandes reservas de carvão (cerca de 7 bilhões de toneladas) localizados predominantemente no sul do país. Embora a exploração desse minério seja relativamente fácil, essas reservas têm sido subutilizadas como fonte de energia. Atualmente o planejamento estratégico do país visa diminuir a lacuna entre o carvão e as fontes tradicionalmente usadas como matrizes energéticas do Brasil. Neste contexto, a flotação em colunas aparece, particularmente nas últimas décadas, como a alternativa mais promissora e eficiente para concentração de partículas de determinados tamanhos, quando em comparação com as células convencionais de flotação. De uma forma geral, o emprego deste equipamento tem sido bem sucedido, principalmente para sistemas minerais contendo partículas finas.

Este trabalho visa estudar o processo de flotação em coluna para um carvão específico. O material usado no estudo consiste em finos de carvão que normalmente são descartados como rejeito e depositados em barragens de rejeito. O objetivo é recuperar matéria carbonosa e reduzir os teores de cinzas e contaminantes. As variáveis analisadas foram a influência da granulometria, concentração de sólidos na polpa, a concentração de surfactantes e espumantes. Os primeiros resultados mostraram que é possível, a partir de uma alimentação com o teor de cinzas em torno de 65%, obter produtos com aproximadamente 35% de cinzas com uma recuperação mássica em torno de 40%. Concentrações de espumante (óleo de pinho) variaram entre 50 g/t a 300 g/t e o coletor (óleo diesel) de 50 g/t a 200 g/t.

PALAVRAS-CHAVE: Carvão, flotação, coluna, rejeitos

1. INTRODUÇÃO

Embora seja relativamente fácil a exploração dos carvões brasileiros, essas reservas minerais são historicamente subutilizadas como uma fonte de energia para o país. Atualmente 30% da energia elétrica produzida no estado do Rio Grande do Sul é gerada em termoeletricas, valor esse um pouco maior do que no Estado de Santa Catarina (25%). Neste cenário a maior parte do carvão utilizado em plantas de geração de energia elétrica do Brasil é oriunda de beneficiamentos gravimétricos. Nesses sistemas os finos são normalmente descartados e depositados em barragens de rejeito. As atuais políticas brasileiras têm buscado aumentar a parcela do carvão na matriz energética nacional. Nesta nova realidade a busca pela otimização de s sistemas de processamento de carvão aparece de forma promissora, buscando com o uso de novas tecnologias qualificar a concentração desse mineral.

Dentre os processos utilizados no tratamento de minérios, e que pode ser um importante diferencial na qualificação do carvão mineral brasileiro, a flotação se destaca como um dos mais importantes processos metalúrgicos, sendo este um processo de separação de partículas minerais, que explora diferenças nas características interfaciais entre as várias espécies mineralógicas presentes em um determinado sistema. Este processo tem sido exaustivamente estudado ao longo tempo, nos mais variados sistemas e, de uma forma geral, ainda permanece subentendido, segundo a avaliação de diversos pesquisadores. Mesmo assim, com base em décadas de estudos, foram desenvolvidos distintos equipamentos visando a otimização e o controle do processo. (Brum, 2003 e Barraga, 2005)

Desde a comercialização de colunas que operam em contracorrente nos anos 80, muitos estudos tentaram encontrar melhores designs. De acordo com Rubinstein (1995) nas ultimas duas décadas mais de 100 patentes foram concedidas. Entretanto, os pesquisadores canadenses são considerados como os que apresentaram a nova tendência na flotação, estabelecendo um conhecimento abrangente sobre colunas que operam em contra corrente bolha/partícula (Finch and Dobby, 1990). Eles empregaram um reator vertical em forma de coluna como uma célula de flotação, que foi descrito matematicamente por um modelo de dispersão axial para predizer o comportamento da concentração. Em geral, o uso deste equipamento tem sido bem sucedido, especialmente para sistemas que contem partículas finas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As duas amostras utilizadas nesse estudo são provenientes da cidade de Criciúma em Santa Catarina. O minério foi recebido em polpa, com uma granulometria de cerca de 90% passante em 0,074 mm. A polpa foi homogeneizada e estocada em amostras de 50 L. O teor de cinzas analisado era de cerca de 65%, a concentração de enxofre de cerca de 2,75% e a matéria volátil em torno de 15%.

Inicialmente as duas correntes da planta de beneficiamento de carvão forma analisadas em separado. Uma das amostras era material fino de hidrociclone e a outra reunia todo o material fino das outras etapas do processo. A primeira foi denominada “Efluente Hidrociclone” e a outra “Efluente Tanque”. Essas duas amostras foram estudadas em um sistema de células convencionais de flotação em escala de bancada. Para o teste em coluna de flotação essas duas correntes foram reunidas em uma amostra única, de acordo com o novo sistema de operação da planta de beneficiamento. A distribuição granulométrica e de cinzas dos materiais estudados é mostrada na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros granulométricos e análises de cinzas dos dois materiais diferentes

Efluente do ciclone	Fração granulométrica, mm	Massa, %	Cinzas, %
	+0,25 mm	0,9	n.a.
	-0,25+0,149 mm	2,4	n.a.
	-0,149+0,074 mm	8,6	36,3
	-0,074 mm	88,1	65,3
	Alimentação		
Efluente do tanque	Fração granulométrica, mm	Massa, %	Cinzas, %
	+0,25 mm	0	n.a.
	-0,25+0,149 mm	0,6	n.a.
	-0,149+0,074 mm	5,7	43,4
	-0,074 mm	93,8	65,6
	Alimentação		

2.1 Flotação Convencional

Os ensaios em escala de bancada foram realizados em uma máquina de flotação Denver, modelo LA500, com célula de acrílico, onde foram estabelecidas as condições ótimas de flotação. A polpa foi preparada com água até 30% de concentração de sólidos e agitada a 900 rpm a pH natural, em torno de 8. Os tempos de adição de reagentes e condicionamento eram:

Óleo diesel (5 min)

Óleo de pinho (3 min)

A flotação era realizada a 1000 rpm, com fluxo de ar controlado. A coleta do concentrado era realizada a cada 10 s com o emprego de um raspador de acrílico, dimensionado para a célula de flotação.

2.2 Flotação em coluna

A coluna de flotação empregada no estudo foi construída com base no protótipo elaborado após Soto et al.3,4, sendo constituída de tubos de cloreto de polivinila, PVC (Figura1).

A coluna, feita em PVC, tem 3 m de altura e 10 cm de diâmetro. O borbulhador foi montado a partir de tecido de filtro industrial, o qual foi colocado sobre a parte cônica da coluna. Dois manômetros de água foram colocados para monitorar o hold up. Bombas peristálticas controlaram a vazão de alimentação e de rejeito. A polpa foi preparada com água, para as diferentes concentrações analisadas, em um tanque de 100 L, a pH 8, equipado com defletores e um agitador de pás acionada por um motor de 0,5 CV acoplado a um redutor de velocidade. Os reagentes e o tempo de condicionamento foram: óleo diesel (5 min) – 100g/t e óleo de pinho (5 min) – 300g/t.

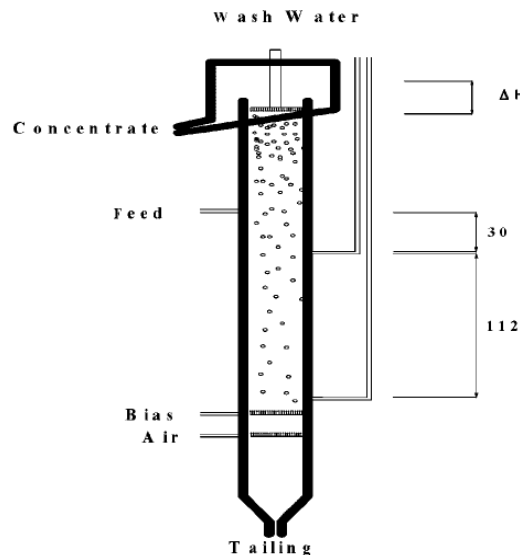


Figura 1. Diagrama esquemático do protótipo da coluna

Os testes de flotação em coluna foram divididos em três grupos. O primeiro grupo analisado um sistema com alta concentração de sólidos, cerca de 30%, dependendo do material fornecido pela usina de beneficiamento de carvão. Esta concentração não pode ser considerada a ideal para flotação de carvão, mas foi analisada por interesse para empresa.

No segundo grupo de testes, a polpa foi diluída e analisada em dois sistemas, um com uma concentração de sólidos de 9% e outro com 4,5%.

No último grupo de testes, a alimentação de flotação foi previamente submetida a uma deslamagem, onde foi removida a fração menor do que 0,044 mm. Com isso, o material utilizado nos testes de flotação mostrou características granulométricas muito distintas do material utilizado na primeira e segunda baterias de testes, com 50% de material maior do que 0,149 milímetros. Após a deslamagem o teor de cinzas caiu para 51,6%. A concentração de sólidos na alimentação da polpa foi de cerca de 13%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos ensaios em escala de bancada com material fino, tanto o material do tanque como o dos hidrociclones mostraram resultados similares, em teor de cinzas e recuperação em massa. Os principais resultados são apresentados na tabela 2.

A análise da Tabela 2 mostra que os melhores resultados para o "Efluente do tanque" e "Efluente do hidrociclone" são para as concentrações de 100 g/t de óleo diesel e 300 g/t de óleo de pinho. Para essas concentrações, a recuperação em massa foi de cerca de 50%, com teor de cinzas de 36%. Estes valores se mostram bastante promissores, porque permitem, por exemplo, a obtenção de material de suficiente qualidade para blendagem com outros carvões e/ou concentrados para uso em termoeletricas. Ao mesmo tempo, eles mostram que poderia haver uma redução da quantidade de resíduos a serem depositados na barragem de rejeitos. É provável que com a redução da concentração de sólidos melhores resultados, referentes aos teores de cinzas, possam ser obtidos. No entanto, nesta fase do estudo, a idéia geral era manter as condições da polpa gerada na indústria.

Tabela 2. Recuperação de massa e teor de cinzas de ensaios de bancada.

	Ensaio	Óleo diesel (g/t)	Óleo de pinho (g/t)	Concentrado			Rejeito
				Massa (%)	Cinzas (%)	S (%)	Cinzas (%)
Efluente do tanque	T1	50	200	44,3	39,3	2,68	83,6
	T2		300	50,8	40,8	2,71	85,6
	T3	100	300	48,5	36,8	2,85	84,8
	T4		400	49,9	41,3	2,44	85,5
	T5	200	50	11,7	40,4	2,65	65,5
	T6		100	18,0	36,4	2,66	67,6
	T7		300	41,6	37,6	2,59	82,4
Efluente do ciclone	H1	50	200	52,6	39,4	2,36	84,8
	H2		300	54,6	39,9	2,65	86,4
	H3	100	300	50,8	36,5	2,55	85,6
	H4		400	54,9	41,1	2,48	86,8
	H5	200	50	13,5	37,1	2,59	65,2
	H6		100	15,5	37,3	2,33	65,8
	H7		300	47,0	31,5	2,64	85,6

Buscando melhorar os resultados, os testes na coluna de flotação tiveram como objetivo analisar as variáveis que pudessem reduzir o teor de cinzas e mantendo, ou melhorando, a recuperação de massa no fluxo de concentrada. Com base nos resultados obtidos anteriormente foram analisados em uma coluna de flotação concentrações de óleo diesel a partir de 100 g / t de óleo de pinho e 300 g / t.

O primeiro sistema analisado em coluna de flotação foi com uma vazão de alimentação apresentado uma concentração de sólidos de cerca de 30%, semelhante à usada em testes de bancada. Este material foi utilizado sob as condições que é produzido na planta industrial, mesmo estão bastante fora do intervalo considerado ideal. Os resultados são apresentados na Tabela 3. Estes resultados mostram que a recuperação de massa foi baixa para todos os parâmetros analisados. Mesmo com bias negativo (01_A e 01_B) a recuperação de massa não chega a 10%. Em outros testes, com bias positivo e adição de água de lavagem, a eficiência do sistema foi ainda menor.

Nos testes seguintes, um sistema de bias negativo e sem água de lavagem foi estudado. A concentração de sólidos foi fixada em dois valores, de 9% e 4,5%. Os resultados desses testes de flotação de coluna são apresentados na Tabela 4, onde é possível observar uma forte influência da concentração de sólidos no sistema.

Tabela 3. Recuperação de massa e teor de cinzas dos ensaios na coluna de flotação Cp/p 30%.

Ensaio	Var (cm/s)	V _{alim.} (cm/s)	V _{rej.} (cm/s)	V _{H2O} (cm/s)	Concentrado			Rejeito
					Massa, %	Cinzas, %	S, (%)	Cinzas, %
01_A	1,10	1,37	1,13	0	9,73	37,83	2,20	65,42
01_B	1,55				7,65	34,59	2,26	64,12
01_C	1,33	1,13	1,37	0,22	2,73	34,52	2,24	63,77
01_D	1,55				4,88	33,36	2,24	65,60
01_E	1,33	1,50	1,66		6,2	36,47	2,23	62,57
01_F	1,55				3,71	34,49	2,16	61,80

Com menor concentração de sólidos na coluna, todos os valores de teor de cinzas ficaram em torno de 30%, com forte influência na recuperação mássica. Quando a concentração de sólidos é reduzida de 9% para 4,5% de recuperação mássica dobra sem alterações significativas no teor de cinzas. Neste caso, as vazões de ar não influenciam o resultado global.

Tabela 4. Recuperação mássica e teor de cinzas para ensaios de flotação em coluna. Cp/p 9% e 4,5%. Sem água de lavagem.

Ensaio	Var (cm/s)	Cp/p %	V _{alim} (cm/s)	V _{rej.} (cm/s)	Concentrado			Rejeito		
					Massa, %	Cinzas, %	S, (%)	Cinzas, %		
02_A	1,0	9,0	1,37	1,14	23,82	31,65	2,51	73,98		
02_B	1,2				20,92	31,42	2,66	71,13		
02_C	1,3				25,67	28,90	2,53	72,71		
02_D	1,7				23,93	30,28	2,41	86,20		
02_E	1,0	4,5			1,37	1,14	46,07	31,44	2,52	78,14
02_F	1,2						47,28	31,63	2,34	79,05
02_G	1,3						46,51	31,38	2,54	78,31
02_H	1,7						58,47	30,40	2,59	79,54

Finalmente, um sistema com a eliminação da fração fina foi analisando. A tabela 5 mostra que a recuperação da massa foi alta em todos os testes e isso poderia ser esperado em um sistema de bias negativo (sem água de lavagem). No entanto, os teores de cinzas também foram elevados em todos os casos, variando de 43 a 48%. A exceção deste grupo foi o teste com a água de lavagem (menor fluxo), que atingiu um teor de cinzas abaixo de 40% e recuperação mássica de cerca de 41%.

Neste sistema, é evidente o efeito da água de lavagem no escoamento de partículas de ganga, onde se observou uma redução significativa no teor de cinzas. Além disso, a redução da recuperação mássica indica que uma quantidade significativa de material é a recuperação por aprisionamento e/ou arraste (Akdemir, 2003).

Tabela 5. Recuperação mássica e teor de cinzas para ensaios de flotação em coluna.
Material deslamado (50% +0,149 mm) Cp/p 13%.

Ensaio	Var (cm/s)	V _{alim.} (cm/s)	V _{rej.} (cm/s)	V _{H₂O} (cm/s)	Concentrado			Rejeito	
					Massa, %	Cinzas, %	S, (%)	Cinzas, %	
03_A	0,88	1,10	1,06	0	64,27	43,96	2,70	81,48	
03_B	1,55				62,76	46,38	2,64	82,47	
03_C	1,99				76,70	46,65	2,50	82,45	
03_D	0,88	1,55	1,24		74,75	47,25	2,54	81,68	
03_E	1,55				51,45	44,61	2,76	81,97	
03_F	0,88	1,77	1,24		67,38	48,33	2,79	81,51	
03_G	1,55				62,90	48,52	2,26	80,16	
03_H	1,33	1,33	1,33		0,22	61,98	46,95	2,28	82,03
03_I	1,55					67,30	46,61	2,60	82,13
03_J	1,33			0,18	51,28	44,09	2,64	81,85	
03_K	1,55				40,94	37,91	2,74	83,48	

4. CONCLUSÕES

O tratamento deste material (rejeito do processamento de carvão mineral) se mostra bastante vantajoso, pois permite não só a redução da quantidade de material a ser descartado na barragem de rejeitos, aumentando a vida útil destas últimas, mas também permite a recuperação da matéria carbonosa, sendo possível uma blendagem com outros carvões.

Neste estudo, foi possível observar a forte influência da concentração de sólidos sobre os parâmetros de separação analisados. Os melhores resultados foram obtidos com baixa concentração de sólidos, otimizando a capacidade de carga da coluna de flotação. A camada de espuma também parece mais aberta a baixas concentrações de sólidos, permitindo a drenagem de partículas de ganga, mesmo sem água de lavagem.

Em geral, o funcionamento da flotação em coluna com um valor baixo de bias negativo pode estabelecer condições de escoamento que permitam a recuperação de material fino. No entanto, nestas condições, a recuperação de partículas finas pelo aprisionamento e/ou arraste pode ser significativo. Esses parâmetros devem ser examinados em uma continuação deste estudo.

Apesar dos resultados obtidos até o momento, mais estudos são necessários. Parâmetros como a concentração de sólidos ainda precisam ser otimizados, visando um concentrado com baixo teor de cinzas, recuperação mássica e a produtividade. O desempenho de um sistema de bias positivo e a influência do fluxo de água de lavagem ainda precisa ser melhor avaliado no presente caso.

REFERÊNCIAS

- Akdemir, Ü. and Sönmez, I. Investigation of coal and ash recovery and entrainment in flotation. *Fuel Processing Technology* 82, p. 1-9, 2003.
- Brum, I.A.S., 2003. Concentração de partículas minerais grossas de fluorita em coluna de flotação, Ph.D. Thesis, PPGEM/UFRGS. Porto Alegre/RS, Brasil, 120 pp.
- Barraza, J. and Piñeres, J., 2005. A pilot-scale flotation column to produce beneficiated coal fractions having high concentration of vitrinite maceral, *Fuel*, April, 84, pp. 1879-1883.
- Finch, J.A. and Dobby G.S., 1990, *Column flotation*, London, Pergamon Press.
- Rubinstein, J.B., 1995. *Column flotation, processes, design and practices*. Gordon and Breach Science