

Aglomeración de finos de carvão

Alexis B. T. De León *
Jorge Rubio, PhD **

1. INTRODUÇÃO
2. MATERIAIS E MÉTODOS
3. RESULTADOS E CONCLUSÕES
4. CONCLUSÕES
5. BIBLIOGRAFIA

* Aluno de mestrado do Depto. de Minas da
UFRGS

** Professor Adjunto do Depto. de Minas da
UFRGS

Resumo

O grande aumento da produção de carvão previsto para os próximos 4 anos nas minas da CRM originará uma considerável quantidade de finos como produto final do circuito de beneficiamento por ciclonação. Estes finos caracterizam-se pelos seus altos teores de umidade e granulometria $< 1\text{mm}$ ($\bar{x} = 170 \mu\text{m}$, Rosin-Rammler) o que onera o processo de manuseio e transporte. O presente estudo apresenta dados comparativos entre os processos de briquetagem e pelotização que supostamente resolveriam o processo citado anteriormente. As variáveis estudadas na aglomeração por briquetagem foram: teor de umidade, tipo e concentração de agente ligante, proporção volume de sólidos/volume da matriz cilíndrica utilizada como briquetador, pressão de moldagem, temperatura de cura dos briquetes, etc. Os melhores resultados obtidos (medições de testes

mecânicos de compressão, abrasão e impacto) foram empregando amido geleificado (9% em peso), temperatura de cura de 120°C e pressão de moldagem de $400-500\text{kgf/cm}^2$. A pelotização foi estudada utilizando um tambor e um disco de laboratório e as variáveis estudadas foram: umidade, tipo de concentração de agente ligante, temperatura de cura, etc. O melhor resultado foi obtido com o amido (10% em peso), a umidade ótima em torno de 30-40%, uma inclinação do disco de 45-51 graus e 120°C a melhor temperatura de cura.

Os resultados obtidos se discutem em termos dos fenômenos que ocorrem na interfase carvão/solução e com os parâmetros experimentais otimizados realiza-se um estudo econômico comparativo entre os dois processos.

Este trabalho foi financiado pela CRM, Companhia Riograndense de Mineração.

1. Introdução

Modernos métodos de mineração e de beneficiamento de carvão geram grandes quantidades de finos, que dificultam de diversas formas sua utilidade imediata, fundamentalmente por fatores econômicos. A presença de finos, além de onerar o processo de seu beneficiamento, cria problemas relacionados com a poluição ambiental, o seu manuseio, o transporte e sua estocagem.

Evidentemente, a aglomeração das partículas finas em umidades maiores, e mais resistentes ao trabalho mecânico resolveria em princípio, estes problemas (1).

Dentro das principais alternativas de aglomeração de finos de carvão, destacam-se os processos de Pelotização e Briquetagem (2,3). A escolha de um determinado processo será função das características tecnológicas e econômicas, nas quais influem inúmeras variáveis físicas e físico-químicas do produto e sua interação com água e/ou ligantes.

Basicamente, os processos diferem quanto ao tipo de "energia" empregada na obtenção dos

aglomerados, e no caso do carvão, existem estudos teóricos e aplicação industriais em países onde a tecnologia do carvão é mais desenvolvida (4).

Este estudo origina-se da necessidade da caracterização comparativa (técnica e econômica) dos dois processos aplicados à aglomeração de finos de carvão, produtos beneficiados por hidrociclonação da unidade de beneficiamento da Mina de Leão I pertencente à C.R.M.

Neste trabalho são apresentados resultados da aglomeração de dois tipos de finos de carvão, em função de uma série de parâmetros que foram considerados prioritários.

Assim, as variáveis estudadas na aglomeração por briquetagem foram: o teor de umidade, tipo de concentração de ligante, proporção de volume sólido/volume de matriz cilíndrica utilizada, pressão de moldagem e temperatura de cura do produto aglomerado.

Nos estudos de pelotização as variáveis estudadas foram: a umidade do carvão, tipo e concentração de ligante e temperatura de cura.

Os resultados obtidos são discutidos em termos das características diferentes dos carvões ensaiados e dos diversos fenômenos interfaciais envolvidos.

2. Materiais e métodos

Carvão: Os finos de carvão utilizados no presente estudo são produtos do circuito de beneficiamento de finos da C.R.M. e codificados como CE 4700 e CE 5900 sendo que os números correspondem aos respectivos poderes caloríficos expressados em Kcal/kg.

Estes finos foram quarteados sucessivamente até a obtenção de amostras representativas de aproximadamente 0,5kg e guardadas em sacos plásticos com o objetivo de evitar uma possível oxidação parcial do carvão e evitar a perda da umidade original com que saem da usina de beneficiamento.

Resultados da Análise Imediata (Norma ABNT N^o 15/40) e de densidade, (picnômetro 50ml) mostram que o carvão CE 4700 apresenta um teor de "cinzas" de 20,6%, uma unidade total (livre natural), de 23,5% e uma densidade de 1,32 g/cm³. Os resultados do carvão CE 5900 foram 24,8; 25,2 e 1,38 respectivamente. A análise granulométrica detalhada destes finos de carvão é dada na Tabela I, e os valores dos diâmetros médios foram obtidos a partir da equação de distribuição granulométrica de Rosin-Rammler-Bennett(5). Estes valores são 1.25mm para CE 4700 e 0.85 para CE 5900.

Tabela I. Análise granulométrica dos finos de carvão.

Carvão CE 4700

Granulometria Malhas mm	Massa Retida Gramas	% Retido Simples	% Retido Acumulado
+ 14	1,2	49,10	49,10
+ 20	0,8	19,48	68,58
+ 28	0,6	14,66	83,24
+ 48	0,3	9,72	92,96
+ 60	0,2	0,03	92,99
+ 100	0,1	1,20	94,19
+ 200	0,07	0,76	94,95
- 200	0,07	5,05	100,00
Total	300,8	100,00	-

Carvão CE 5900

Granulometria Malhas mm	Massa Retida Gramas	% Retido Simples	% Retido Acumulado
+ 14	1,2	24,12	24,12
+ 20	0,8	15,20	39,32
+ 28	0,6	14,45	53,77
+ 48	0,3	29,22	83,69
+ 60	0,2	1,85	85,54
+ 100	0,1	7,69	93,23
+ 200	0,07	0,10	93,33
- 200	0,07	6,67	100,00
Total	291,4	100,00	-

Estudos de Pelotização: Amostras de 400g de carvão úmido foram misturadas com o agente ligante de concentração desejada durante 10 minutos e peneiradas (12 malhas) para se obter uma alimentação homogênea dentro de um tambor e/ou dentro de um disco pelotizador, que apresenta as seguintes dimensões: Tambor-diâmetro 230mm e profundidade 80mm. Após testes preliminares foram fixados o tempo e o número de rotação para cada caso (vide resultados). As pelotas obtidas foram caracterizadas em termos de sua distribuição de tamanhos e resistências ao impacto, abrasão e compressão.

Distribuição de Tamanhos: A distribuição dos diâmetros foi realizada selecionando-se aleatoriamente uma média de 10 a 20 pelotas por teste, medidos seus diâmetros e logo após pesados individualmente. O diâmetro médio designado como GWND ("gravity weigh main diameter") foi calculado pela fórmula:

$$GWND = \frac{\sum W_i D_i}{\sum W_i}$$

onde: W_i : é o peso em gramas de cada "pelota" testada.

D_i : é o diâmetro em cm de cada pelota.

Resistência ao Impacto (R_i): Esta resistência foi determinada deixando-se cair "pelotas" curadas de uma altura de 45 e/ou 90cm sobre uma placa de metal, registrando-se o número de quedas que cada "pelota" pode resistir sem sofrer qualquer fratura. Cada teste foi feito com 10 pelotas e a média dos valores obtidos indica o Índice de Resistência ao Impacto da amostra.

Resistência à Abrasão (R_a): As medidas foram obtidas pesando aproximadamente 100g de "pelotas" curadas e devolvidas ao tambor de pelotização (sem raspador) durante 5 minutos com uma rotação de 42 rpm. Fim do teste, todo o material contido no tambor foi passado numa peneira de 12 malhas Tyler durante 1 minuto. A percentagem em peso remanescente na peneira determina o Índice de Abrasão da amostra.

Resistência à Compressão: As medidas de carga de ruptura (L_f) das pelotas, foram realizadas empregando uma Máquina Universal de Ensaio WPM-VEB Thurnger Industriewerk Raustein, Tipo 2132. Os valores de L_f foram calculados a partir da equação $L_f = k_s M^a$, onde M é a massa de cada pelota (em gramas) e k_s e a , parâmetros obtidos por meio de regressão linear do tipo exponencial, característicos de cada teste de pelotização.

Estudos de briquetagem: Quantidades (20 ou 30 gramas) de finos de carvão são misturados com o agente ligante de concentração desejada e logo introduzidos na matriz de moldagem para posterior prensagem. A matriz empregada foi um cilindro de 30mm de diâmetro e 75mm de altura. Os finos de carvão foram briquetados com a umidade natural e também após secagem a 60°C em estufa. Após prensagem, os briquetes foram tratados termicamente (cura) e depois de frios foram medidos e pesados. Finalmente os briquetes

são caracterizados em termos de sua resistência à compressão utilizando a Máquina Universal de Ensaio de compressão descrita anteriormente.

3. Resultados e conclusões

Estudos de pelotização em disco: Foram estudados dois tipos de ligantes, alcatrão (resíduo de destilação de carvão a baixa temperatura) e amido de milho. As variáveis testadas foram o ângulo de inclinação do disco, a concentração de agente ligante e o tempo de pelotização.

A Tabela II apresenta resultados obtidos empregando amido como agente ligante. Esta tabela mostra as variações na inclinação do disco tanto quanto ao rendimento do material pelotizado, quanto às características mecânicas.

Tabela II. Pelotização de finos em disco com amido como agente ligante

Tempo de pelotização (minutos)	Concentração de amido (% em peso)	Inclinação Graus	R ₁ , %	R _a , %	Massa pelotizada, %
5	5	51	79,0	88,0	44,3
5	10	51	97,0	96,0	52,9
10	5	51	92,0	95,6	48,0
10	10	51	63,0	95,1	64,5
5	5	45	32,0	83,5	71,2
5	10	45	75,0	92,0	75,0

De modo geral, e segundo o esperado, a percentagem de material pelotizado e os índices de resistência mecânica aumentam com a concentração de ligante. Para ângulos de inclinação menores do que 51° a percentagem de pelotização aumenta consideravelmente, porém, os índices de resistências diminuem.

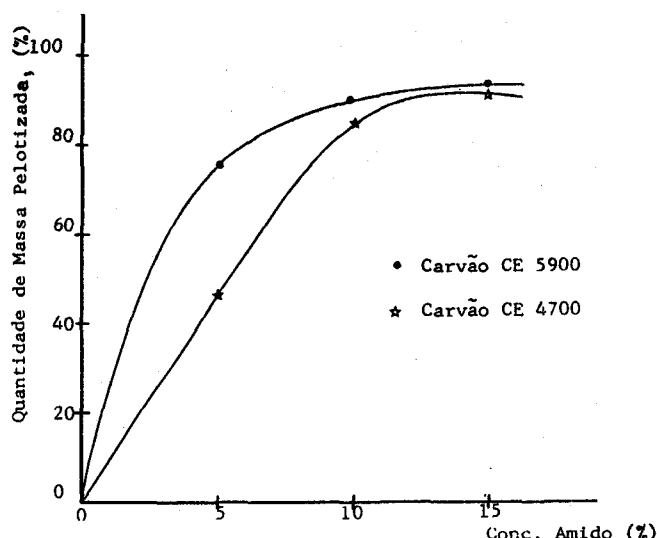
Usando-se alcatrão, como ligante, (5% em peso), não foi possível pelotizar o carvão CE 4700, observando-se ainda, que durante a realização do ensaio ocorre o fenômeno de desorção da água contida nas partículas de carvão, pelo alcatrão adicionado. No caso do carvão CE 5900 observou-se uma pequena proporção de material pelotizado, (15%), e as pelotas obtidas não apresentavam qualquer característica de resistência ao manuseio.

Estudos de Pelotização por Tamboreamento:

Os testes de pelotização por tamboreamento foram realizados usando como agente ligante amido de milho. Os parâmetros estudados foram a concentração do ligante, a temperatura de cura das pelotas e variação da umidade do carvão.

A figura 1 apresenta os resultados de pelotização com os dois tipos de carvão em função da concentração de amido como agente ligante. Observa-se uma relação crescente com a quantidade de ligante que resulta da existência de um maior número de pontes entre as partículas primárias. As diferenças que ocorrem entre os dois tipos de carvão podem ser atribuídas às variações no teor de umidade e granulometria.

Figura 1. Variação da quantidade de massa pelotizada em função da concentração de ligante.



Estudos de pelotização indicam, de um modo geral, que o material mais fino tem uma maior susceptibilidade a aglomerar devido ao maior número de contatos entre as partículas, decorrentes da maior área superficial. Neste estudo, o CE 5900, além de ter uma granulometria menor, possui uma maior umidade natural, que permite a nucleação de partículas aglomeradas, facilitando a ação ponte do ligante através de uma melhor distribuição deste (efeito "carrier"). Ainda, no caso do CE 4700, que apresenta partículas de distribuição granulométrica mais ampla, apresentam um crescimento cinético mais lento, devido à influência negativa das partículas mais grosseiras durante a ação do regime de cascata.

As figuras 2 e 3 apresentam os valores dos parâmetros de resistência mecânica das pelotas em função da concentração de amido como ligante. A figura 2 mostra que para os dois tipos de carvão existe um máximo nos valores de resistência à compressão para uma concentração de ligante em torno de 10% (em peso), para logo diminuir consistentemente a concentrações maiores. Este decréscimo deve estar relacionado com a maior concentração de amido fazendo ponte entre as partículas e criando maiores pontos de fratura. A resistência menor do CE 5900 pode ser explicada em termos de sua maior umidade. Assim, as pelotas após o processo de cura, perdem esta umidade natural deixando a estrutura interna mais porosa e conseqüentemente mais frágil.

A figura 3 apresenta os resultados dos ensaios de abrasão. Este índice mostra valores ótimos já por volta de 6% de amido e mantendo esta resistência máxima para todas as concentrações estudadas. Como este teste mede substancialmente fenômenos superficiais, não aparece definido o efeito negativo da concentração de amido na estrutura interna. As diferenças entre os dois tipos de carvão, embora muito pouco significativas, podem ser devidas aos fatores descritos na figura 2.

A figura 4 apresenta os valores da variação do tamanho médio das pelotas, em função da

Figura 2. Índice de resistência à compressão das pelotas em função da concentração de ligante.

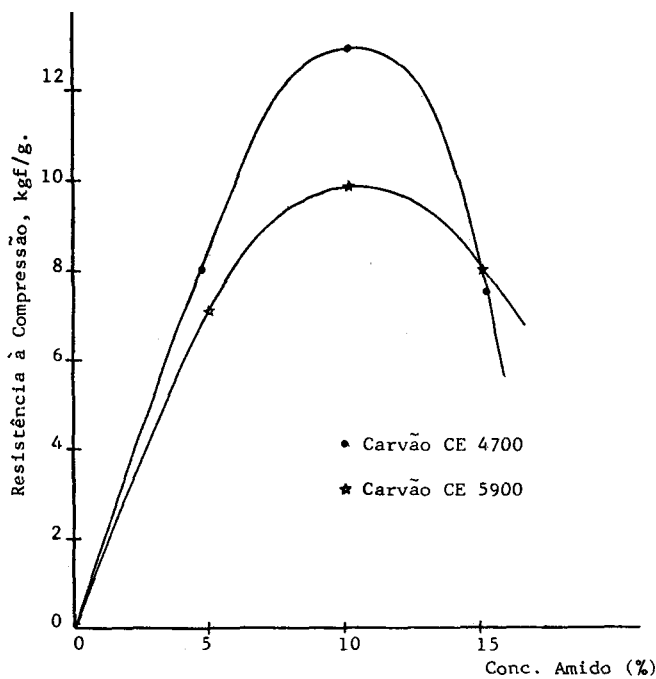
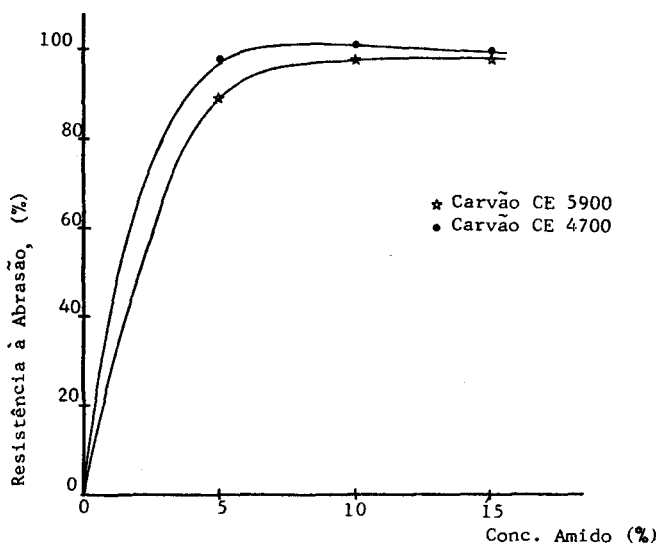


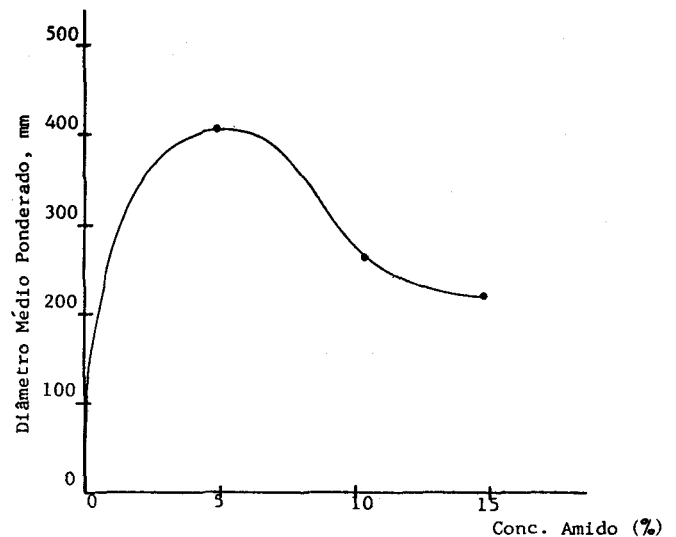
Figura 3. Influência da concentração de ligante na resistência à abrasão das pelotas



concentração de amido para os dois tipos de carvão. Esta figura mostra que independentemente de fatores como: o tipo de carvão, a concentração de amido e a massa pelletizada (vide figura 1), o tamanho médio do produto pelletizado é praticamente igual em ambos os casos. Entre os possíveis fatores que influem no crescimento das pelotas e que podem explicar este fenômeno, estão aqueles decorrentes das mesmas condições operacionais do processo e, entre outros, a relação área superficial/umidade do carvão. Esta relação é da mesma ordem de magnitude (devido à compensação da maior área do CE 5900 com uma maior umidade), e compensa as diferenças físicas, e o produto resultante apresenta um tamanho médio similar, a influência do amido, entretanto, parece ser de natureza cinética na performance do CE 4700.

Estudos de briquetagem: Os testes de briquetagem foram realizados usando-se como

Figura 4. Variação do diâmetro médio das pelotas em função da concentração de ligante.



ligante: alcatrão bruto e destilado e amido de milho em pó e geleificado. Os parâmetros estudados foram: concentração e tipo de agente ligante, temperatura de cura dos briquetes e tempo de moldagem.

Na briquetagem dos carvões com a granulometria e umidade livre natural, sem o uso de ligante, obteve-se briquetes que não apresentam nenhuma característica de resistência mecânica; uma observação geral, no processo de briquetagem, foi a saída da água (umidade de carvão) durante o processo de prensagem do carvão.

Assim, uma primeira desvantagem do tipo operacional na briquetagem destes finos de carvão, seria a necessidade de uma etapa de secagem prévia à moldagem. Por exemplo, a resistência à compressão dos briquetes de carvão úmido (umidade natural), moldados com alcatrão bruto como ligante (10, 12 e 14%) e tratados termicamente a 120°C durante 1 hora, foi sempre, aproximadamente a metade do valor obtido quando os finos de carvão foram secados em estufa a 60°C até peso constante.

Foi observado que o tempo de moldagem não influi significativamente após um tempo de 0,5 minutos.

As figuras 5 e 6 apresentam os resultados comparativos dos índices de resistência à compressão dos dois tipos de carvão em função da concentração de alcatrão (bruto) como ligante e também em função da relação massa do carvão (a ser briquetado)/volume da matriz de moldagem. Estas figuras mostram que, que ao igual que na pelletização, os valores de resistência apresentam um valor máximo num determinado intervalo de concentração, e logo diminuem quando aumenta a concentração do agente ligante.

Do mesmo modo que na pelletização, um recobrimento em excesso das partículas pelo ligante reduz significativamente a resistência interna da estrutura do briquete.

Outrossim, observa-se nas duas figuras que com uma diminuição da carga (massa de

Figura 5. Influência da proporção massa carvão/volume do briquetador na resistência à compressão dos briquetes em função da concentração de ligante e pressão de moldagem.

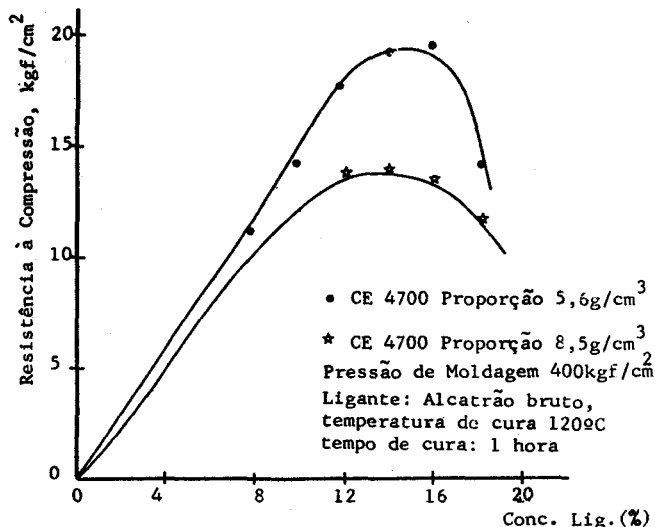
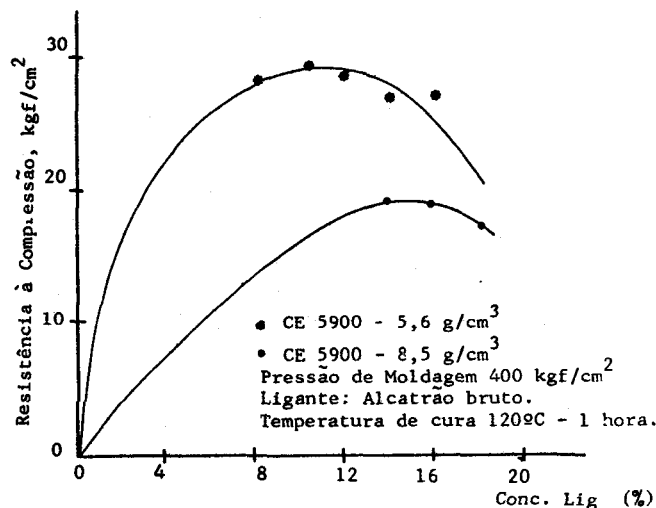


Figura 6. Influência da proporção massa carvão/volume do briquetador na resistência à compressão dos briquetes em função da concentração de ligante e pressão de moldagem.

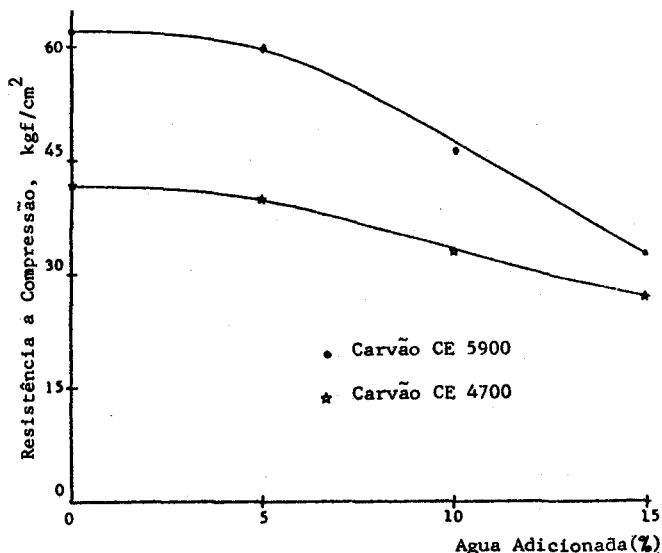


carvão), houve um acréscimo na resistência dos briquetes. Este fenômeno é obviamente devido à maior força de compactação aplicada por unidade de massa.

Quanto à diferenças observadas entre os dois carvões, devem-se principalmente aos diferentes valores da área superficial específica dos mesmos. Assim os finos do CE 5900 que possuem uma granulometria menor e maior área superficial, apresentam, após aplicada a força de moldagem, uma compactação melhor; devido ao maior número de interações entre as partículas (ponte sólido-sólido e Van-der Walls), decorrentes da maior área superficial, cabe ainda observar, que os maiores valores para o CE 5900 em relação ao CE 4700, estão relacionados com a ausência da umidade, pois nos ensaios os carvões eram previamente secados, não ocorrendo o fenômeno da perda da umidade originando a existência da porosidade interna, fenômeno que ocorre na pelletização.

A figura 7 apresenta os resultados da resistência à compressão dos briquetes dos dois tipos de carvão, empregando amido geleificado (9%, 100°C durante 1 hora), como ligante em função da umidade do carvão. Estes resultados foram, entre todos os ligantes testados, os melhores obtidos em termos da resistência mecânica dos briquetes.

Figura 7. Influência da adição de água ao amido geleificado (9% em peso) na resistência à compressão dos briquetes.



A influência da umidade natural dos carvões era, de acordo com o esperado, negativa, pelos argumentos já citados neste trabalho e que dizem relação com a diminuição da energia das interações entre as partículas que são briquetadas. O carvão com maior área superficial (CE 5900), possui uma resistência à compressão maior, pelos motivos considerados anteriormente. Este ligante, amido geleificado, encontra-se em fase de teste no momento tanto na briquetagem como na pelletização.

4. Conclusões

As principais conclusões derivadas dos resultados obtidos neste trabalho são as seguintes:

- Os dois tipos de carvão são susceptíveis de serem aglomerados por pelletização e briquetagem e as diferenças entre os resultados obtidos devem-se fundamentalmente à variações na granulometria e na umidade natural.
- O amido de milho em pó ou geleificado, resultou ser o melhor agente ligante para a pelletização e briquetagem destes finos de carvão.
- A escolha final de um determinado processo de aglomeração dos finos de carvão da usina de beneficiamento da C.R.M., será função ainda de uma avaliação técnica dos processos de pelletização e briquetagem em sistemas contínuos, e de uma sistemática análise econômica de ambos os processos. Porém, a necessidade de reduzir, parcial

ou totalmente, a umidade dos carvões no caso da briquetagem, pareceu ser um sério problema para a adoção da briquetagem na aglomeração destes finos de carvão.

5. Bibliografia

- (1) SASTRY, K.V.S. & FUERSTENAU, D.W.
Kinetics and process analysis of agglomeration. Agglomeration, 77. New York, 1977. p. 381-402.
- (2) SASTRY, K.V.S. & MEHROTRA, V.P.
Pelletization coal fines: state of the art. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AGGLOMERATION, 3. Mai 1981. Proceedings....Agglomeration, 81.
- (3) VEECK, Sílvio. Briquetagem de finos de coque. Porto Alegre, UFRGS/PPGEEMM, 1980. (Tese de mestrado)
- (4) SASTRY, K.V.S. & FUERSTENAU, D.W.
Pelletization of fine coals. Berkeley, University of California, January 1982. (EPRT, final report)
- (5) SHOTTS, R.Q. Screening. In: LEONARD, W.J., Coal preparation. 3 ed., s.l., AIME, 1968.

Agradecimentos

Os autores agradecem à C.R.M. pelo apoio financeiro e pela autorização para publicar estes resultados.