

Beneficiamento do carvão da Camada Bonito - Área sul

Rinaldo Pedro Nardi *

1. INTRODUÇÃO
2. TRABALHOS ANTERIORES
3. PESQUISA DA MINA D+E-IÇARA
4. LAVABILIDADE DO CARVÃO
5. BIBLIOGRAFIA

* Engenheiro da Cia. Brasileira de
Projetos Industriais - COBRAPI

Resumo

São apresentadas as características do carvão da Camada Bonito, da área de Içara, Santa Catarina, fundamentadas nas análises e ensaios realizados em testemunhos de sondagem e em amostra de canal, coletada no subsolo junto ao Poço 10, da Mina Barão do Rio Branco.

São efetuados estudos de liberação do carvão em função da granulometria de britagem e

1. Introdução

Com o advento da crise energética, cresceu o interesse pela Camada Bonito, sabidamente espessa, mas com carvão de alta cinza, extremamente interestratificado e de difícil lavabilidade.

A camada Bonito, ocorre com espessura lavrável, em duas áreas do Estado de Santa Catarina:

1. Área Norte, englobando parte dos municípios de Lauro Müller, Siderópolis e Urussanga.

2. Área Sul, abrangendo a maior parte do município de Içara, e pequenas frações dos municípios de Araranguá, Criciúma e Jaguaruna.

A qualidade do carvão destas duas áreas é ligeiramente diferente. O carvão da Área Norte possui melhor qualidade que o da Área Sul, apresentando maior rendimento de produtos com menor teor de enxofre.

Já foram realizados diversos estudos de lavabilidade em amostras de grande porte do carvão Bonito da Área Norte, todas elas coletadas em regiões de afloramentos. Somente recentemente, foi feito um estudo similar com o carvão da Área Sul, por ocasião da Pesquisa Geológica Preliminar da Mina D+E, Içara, de concessão da Carbonífera Próspera S/A.

Este trabalho apresenta os resultados deste estudo de lavabilidade em amostra de grande porte; a análise da representatividade desta amostra através da comparação de seus resultados com a dos ensaios de lavabilidade

verificada a representatividade da amostra de canal, através da correlação dos resultados de lavabilidade desta amostra com a dos testemunhos de sondagem.

São estudadas as possibilidades de lavagem do carvão da Camada Bonito, analisando-se diversas alternativas de processo, apresentando ao final a caracterização dos produtos possíveis de serem obtidos, e as conclusões relativas ao beneficiamento deste carvão.

realizados em testemunhos de sondagem, e estimativas de rendimentos de produtos em função do teor de cinzas e do processo de beneficiamento.

2. Trabalhos anteriores

São disponíveis em literatura as seguintes informações sobre a qualidade do Carvão Bonito:

- Vários estudos de lavabilidade em amostras de canal, todas elas de afloramentos da Área Norte.

- Lavabilidade de testemunhos de sondagem das Áreas Norte e Sul, destacando-se o Projeto Carvão no Pré-Barro Branco com 46 furos de sonda BX e lavabilidade resumida na fração 1/8" x 200 M, e Projeto Carvão Bonito Gazeificável, com 127 furos de sonda Ø 62,5 mm e lavabilidade resumida na fração 1/4" x 200 M, ambos realizados pela CPRM.

3. Pesquisa da Mina D + E - Içara

A maior parte da jazida de Carvão Bonito da Área Sul é de concessão da Carbonífera Próspera S/A, constituindo a Mina D+E - Içara.

Como a Camada Bonito se encontra nesta área a cerca de 40 m abaixo da Camada Barro Branco, é possível e racional a lavra destas duas camadas simultaneamente.

Em 1982, por ocasião da Pesquisa Geológica Preliminar da Mina D+E - Içara foram realizados 17 furos de sonda NW, em malha de 100 m, complementando a malha de sondagem de campanhas anteriores da CPRM, e aberto um poço de 40 m de profundidade, dando acesso à Camada Bonito, a partir do nível da Camada Barro Branco da Mina Poço 10 - Içara, localizada junto a Mina D+E.

Os dados e informações constantes deste trabalho foram gerados por ocasião da referida pesquisa geológica.

4. Lavabilidade do carvão

4.1. Considerações gerais

O poço de acesso à Camada Bonito, aberto quando da pesquisa efetuada na Mina D+E, foi aproveitado para a verificação "in situ" das condições de lavra desta camada, mas também possibilitou a retirada de uma amostra de grande volume, referente a um avanço de galeria.

Este tipo de amostra possui a vantagem de ser de grande massa, com partículas de tamanho adequado ao estudo de distribuição granulométrica e de lavabilidade por tamanho de britagem, em diversas frações granulométricas e densidade de corte, permitindo importantes informações sobre a liberação do carvão e previsão de rendimento de produtos. Outra vantagem, é a possibilidade de obtenção de amostras de produtos em quantidade suficiente à realização de testes específicos, quando necessário. A grande desvantagem deste tipo de amostra é a representação de apenas uma frente de lavra, devendo ser cuidadosamente analisado o seu uso para a representatividade de toda a jazida.

Por outro lado, amostras de testemunhos de sondagem possuem a vantagem de permitirem um conhecimento de toda a área a ser minerada, e a desvantagem de serem de pequeno porte, apresentando limitações quanto aos ensaios a serem realizados. Neste tipo de amostra, por motivos óbvios, deve ser cuidadosamente verificada a recuperação dos testemunhos de sondagem.

4.2. A camada de carvão

Na Área Sul, o carvão Bonito ocorre em duas camadas, Bonito Inferior e Bonito Superior, separadas por uma intercalação de estéril.

A principal camada é a Bonito Inferior, com espessura média de cerca de 1,80 m, contendo intercalações de siltito carbonoso, cinza a preto, de difícil distinção do carvão. A relação carvão na camada para camada total, é de aproximadamente, 80% em volume.

Na área da Mina D+E, a Camada Bonito Superior é de pequena espessura (0,20 m) e de alto enxofre e somente foi considerada para a lavra, e incluída no estudo de lavabilidade, onde a intercalação da espessura estéril era inferior a 15 cm.

4.3. Amostragem

Os testemunhos de sondagem da Camada Bonito foram amostrados por intervalos litológicos,

britados a 1/8", quarteados, sendo em uma das metades determinado cinza, enxofre, matéria volátil, carbono fixo e peso específico. As outras metades foram utilizadas para reconstituição da camada total, para a realização de um estudo de lavabilidade "resumido" na granulometria 1/8" x 200 M.

A amostragem "bulk" para o ensaio de lavabilidade "completo" foi obtida a partir de um avanço da galeria aberta na Camada Bonito, quando foram coletados aproximadamente 6.000 kg.

4.4. Lavabilidade dos testemunhos de sondagem

A fração 1/8" x 200 M dos testemunhos de sondagem representando a camada total de cada furo foi submetida a um estudo de lavabilidade "resumido" nas densidades 1,50 e 1,85

O cálculo da lavabilidade média foi feito ponderado em função do peso da camada total em cada furo de sonda (espessura x peso específico da camada total) e do rendimento de cada fração densimétrica.

Não foram considerados resultados de furos, que apresentaram alteração pela proximidade de diabásio ou de falhas.

Na Tabela I são apresentados os resultados da lavabilidade média dos testemunhos dos furos de sonda "DE".

Tabela I - Lavabilidade média dos testemunhos dos furos de sonda "DE" - 1/8" x 200 M

	% Simples			% Acumulada		
	-1,50	1,50x1,85	+1,85	-1,50	-1,85	Total
Peso	12,3	38,6	49,1	12,3	50,9	100,0
Cz	16,8	38,6	75,9	16,8	33,3	54,2
MV	27,0	20,0	11,2	27,0	21,7	16,5
S	0,58	0,65	2,58	0,58	0,63	1,59

A lavabilidade média dos testemunhos de sondagem de campanhas de pesquisa geológica anteriores, na área da Mina D+E, foi calculada segundo o mesmo critério anterior, e estão apresentadas nas Tabelas II e III.

Tabela II - Lavabilidade média dos testemunhos de sondagem do Projeto Bonito Gazeificável, na área da Mina D+E - 1/4" x 200 M

	% Simples		% Acumulada	
	-1,50	1,50x1,85	-1,50	-1,85
Peso	11,8	44,4	11,8	56,2
Cz	17,8	39,5	17,8	34,9
MV	31,1	-	31,1	-
S	0,73	0,73	0,73	0,73

Tabela III - Lavabilidade média dos testemunhos de sondagem do Projeto Carvão no Pré-Barro Branco, na área da Mina D+E - 1/8" x 200 M

	% Simples		% Acumulada	
	-1,50	1,50x1,85	-1,50	-1,85
Peso	12,4	45,4	12,4	57,8
Cz	16,0	39,2	16,0	34,2
MV	27,6	-	27,6	-
S	0,64	0,42	0,64	0,47

De modo geral, todas as amostras flutuadas em 1,50 apresentaram FSI variável entre 2,5 e 8,0, podendo tratar-se de carvão coqueificável.

4.5. Lavabilidade da amostra de galeria

A amostra de galeria foi submetida a estudos de lavabilidade nas granulometrias de britagem de 3", 1 1/2", 1/2" e 1/8". Nos três primeiros tamanhos, foram utilizadas nove densidades de corte (1,30; 1,40; 1,50; 1,65; 1,85; 2,00; 2,20; 2,50 e 2,80), nas seguintes frações granulométricas, onde aplicável: 3 x 1 1/2"; 1 1/2" x 1/2"; 1/2" x 28 M; 28 M x 200 M. Na amostra britada a 1/8", foi feito apenas um estudo de lavabilidade simplificado na fração 1/8" x 200 M e nas densidades de corte 1,50 e 1,85, para comparação com o resultado de lavabilidade dos testemunhos de sondagem.

4.5.1. Curvas de lavabilidade

Devido à íntima associação entre a matéria carbonosa e estéril, a liberação do carvão Bonito é pouco pronunciada para as frações grosseiras. Na Figura 1 podem ser vistas as curvas de lavabilidade para as frações +28M das amostras britadas em 3", 1 1/2" e 1/2". As curvas de lavabilidade das amostras 3"x 28 M e 1 1/2" x 28 M são praticamente coincidentes. A amostra 1/2" x 28 M já apresenta alguma liberação, que vai diminuindo à medida do aumento de cinza da fração flutuada.

Considerando-se as curvas de lavabilidade das frações +200 M (Figura 2), o efeito de liberação torna-se mais pronunciado, devido à inclusão da fração 28 M x 200 M, significativamente mais liberada em relação às frações grosseiras.

Na Figura 3 pode ser visto o Diagrama de Henry-Reinhardt para a fração 1/2" x 200 M.

4.5.2. Representatividade

A análise da representatividade da Amostra de Galeria foi feita a partir da comparação da lavabilidade de sua fração 1/8" x 200 M com a da média dos testemunhos de sondagem DE, conforme apresentado na Tabela IV e Figura 4.

Figura 1 - Curvas de Lavabilidade da Fração + 28 M

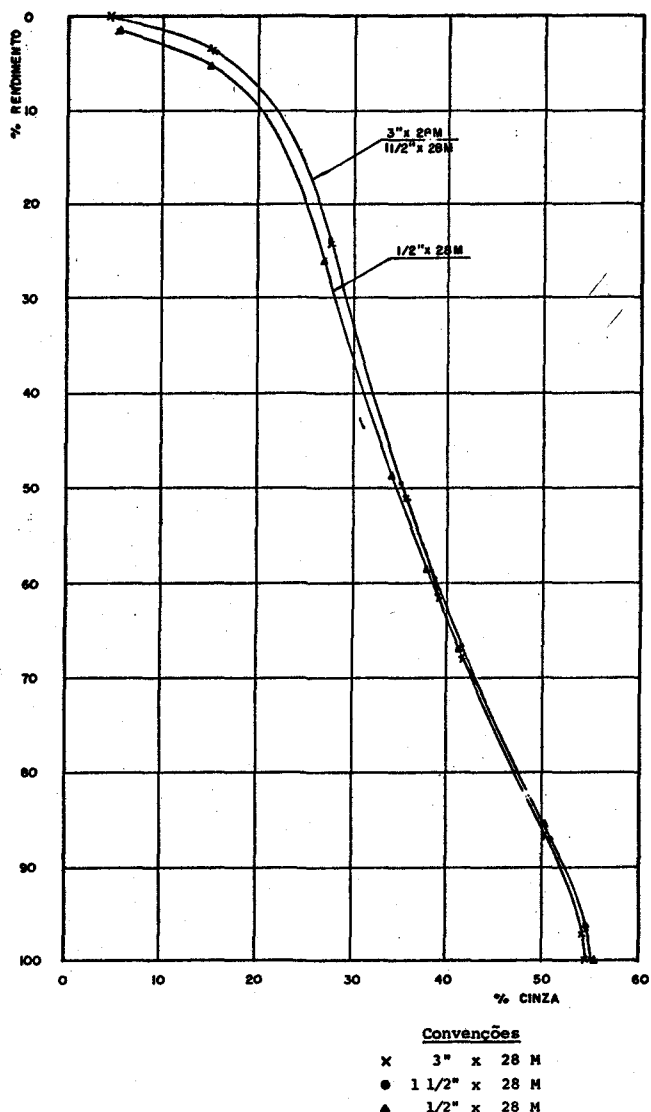


Tabela IV - Comparação entre a lavabilidade da amostra de galeria e dos testemunhos dos furos de sonda "DE" - (1/8" x 200 M)

	Amostra Galeria			Furos Sonda "DE"		
	-1,50	-1,85	Total	-1,50	-1,85	Total
Peso	9,7	48,9	100,0	12,3	50,9	100,0
Cz	12,2	32,3	54,1	16,8	33,3	54,2
MV	14,0	12,3	-	27,0	21,7	16,5
S	0,75	0,73	2,51	0,58	0,63	1,59

As curvas de lavabilidade das duas amostras são praticamente coincidentes para teores de cinzas no flutuado superiores a 30%, podendo-se utilizar a amostra de galeria para previsão de rendimento de carvão energético com mais de 30% de cinzas.

Para teores de cinza inferiores a 30%, a amostra de galeria apresenta rendimentos superiores ao da média da jazida, não se prestando à previsão de rendimento de produtos nesta faixa.

Figura 2 - Curva de Lavabilidade da Fração + 200 M

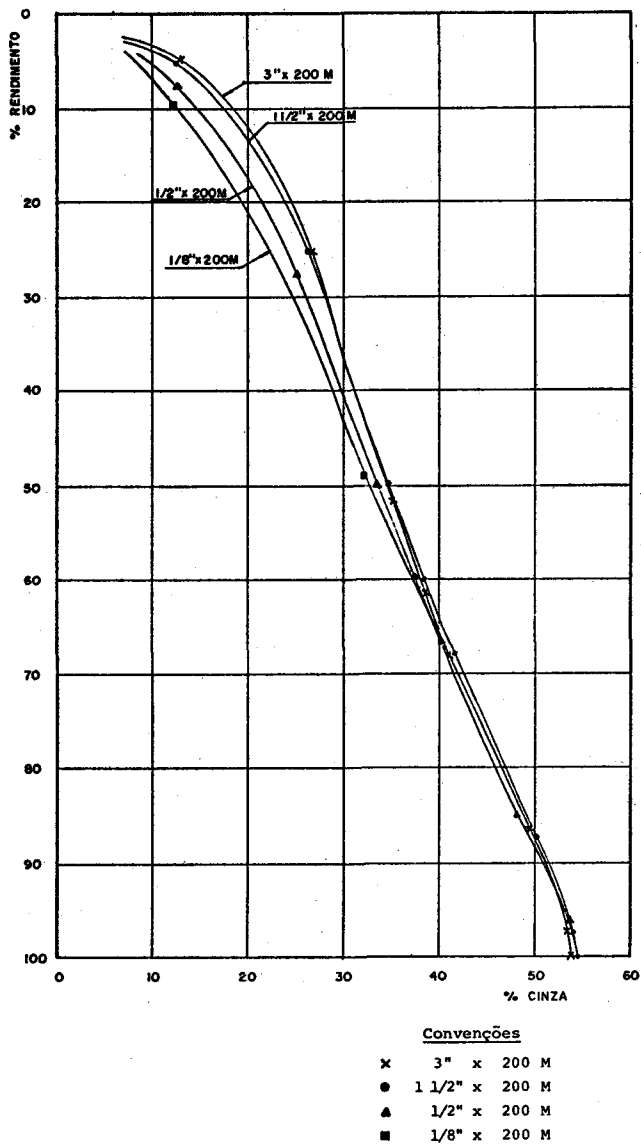


Figura 3 - Diagrama de Henry-Reinhardt para a Fração 1/2" x 200 M

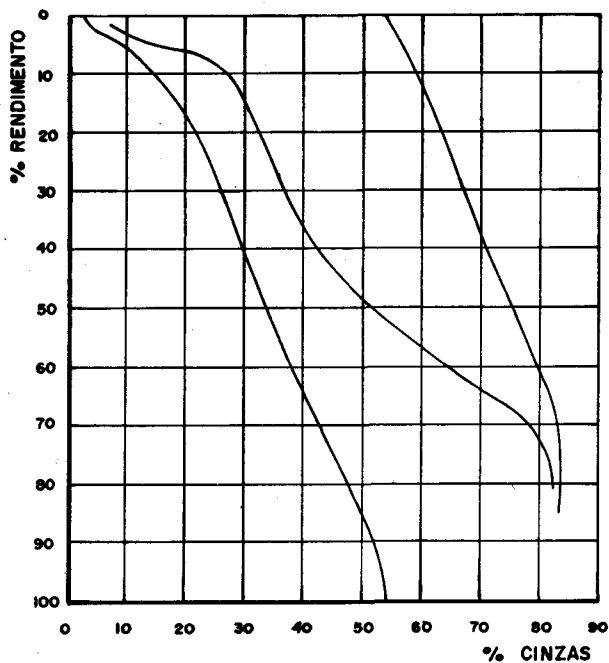
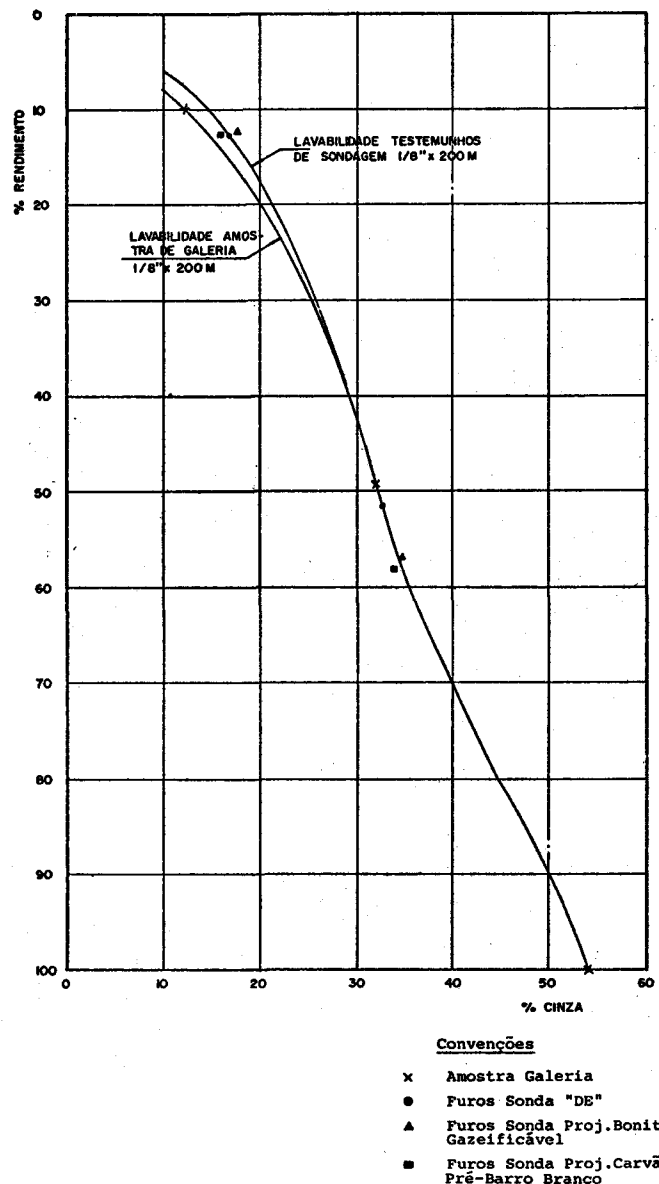


Figura 4 - Curvas de Lavabilidade da Amostra de Galeria e dos Testemunhos dos Furos de Sonda



Existe uma considerável diferença entre o teor de matérias voláteis das amostras indicando a influência de diabásio sobre a amostra de galeria.

O cronograma dos serviços de pesquisa na época da amostragem, impossibilitou o avanço da galeria para uma área não afetada pelo diabásio, para a coleta de outra amostra. Como os rendimentos teóricos de carvão energético foram praticamente iguais, considerou-se a amostra de galeria válida para estimativas de rendimento deste produto.

4.6. Estimativas de rendimentos de produtos

4.6.1. Carvão metalúrgico

Embora possua melhor qualidade do que o carvão da Área Norte, o carvão Bonito da Área Sul ainda possui baixo potencial para a produção de carvão metalúrgico, necessitando para tanto, de britagem fina e utilização de processos de beneficiamento de alta eficiência.

Através da lavabilidade dos testemunhos de sondagem nas faixas granulométricas de 1/4" x 200 M e 1/8" x 200 M, pode-se esperar rendimento teóricos de CM-18 (em peso), respectivamente, da ordem de 12% a 14% da alimentação da planta.

Por analogia com o estudo de lavabilidade completo da amostra de galeria, o circuito de finos -28 M deverá ser responsável por considerável parcela da produção de carvão metalúrgico, razão pela qual torna-se da maior importância a utilização de um processo realmente eficiente para o beneficiamento desta fração.

Um dos processos mais promissores a este tipo de aplicação, é o beneficiamento de finos de carvão em ciclones de meio denso de pequeno diâmetro, normalmente inferior a 350 mm.

O uso de ciclones de diâmetro reduzido possibilita a obtenção de maior força de separação, e o desvio das partículas grossas antes de sua alimentação minimiza o arraste mecânico das partículas mais finas, tornando possível a obtenção de baixo erro de separação.

A primeira planta industrial de beneficiamento de finos em ciclone de meio denso foi projetada e construída pela Dutch State Mines na Bélgica, em 1957, com bons resultados.

O Instituto de Pesquisa de Combustíveis da África do Sul testou a aplicação deste processo para o beneficiamento de finos de carvão de difícil lavabilidade, obtendo sucesso, e levando à construção da primeira planta industrial deste tipo na África do Sul, com capacidade para 45 t/h.

Segundo dados da Dutch State Mines, o erro provável para o beneficiamento de carvão 0,1 - 1 mm em ciclone de meio denso de 250 mm de diâmetro é de 0,06 para uma densidade de corte de 1,52, e de 0,10 para uma densidade de corte de 2,0.

O beneficiamento do carvão Bonito britado a 1/4", em ciclones de meio denso, separadamente

para as frações superior e inferior a 1 mm, deverá ter rendimento da ordem de 9% de carvão metalúrgico com 18% de cinzas.

4.6.2. Carvão energético

As estimativas de rendimento de carvão energético foram feitas a partir da lavabilidade da amostra de galeria.

Para os processos de meio denso foram utilizadas curvas padrão de partição publicadas pelo United States Bureau of Mines. Para os jigues foram utilizadas curvas de partição de acordo com a imperfeição de corte considerada.

Foram considerados os seguintes equipamentos de processo:

- Tambores de meio denso, para beneficiamento da fração 3" x 1/2", com erro provável padrão (*) de 0,019.

- Separadores de meio denso estático, com remoção independente do afundado, com erro provável padrão de 0,0047, para beneficiamento da fração 3" x 1/2".

- Ciclones de meio denso, com erro provável padrão de 0,019 na fração 1/2" x 28 M e 0,014 para a fração 1 1/2" x 28 M.

- Jigue Baun, com imperfeição I = 0,20, para o beneficiamento das frações 3" x 28 M; 1 1/2" x 28 M; 1/2" x 28 M.

- Jigues modernos, com imperfeição I = 0,12 para a fração 3" x 28 M e 0,14 para as frações 1 1/2" x 28 M e 1/2" x 28 M.

- Ciclones autógenos, para a fração 28 M x 200 M, com imperfeição I = 0,35.

As estimativas de rendimento para diversas combinações de processo estão apresentadas na Tabela V.

(*) erro provável padrão = erro provável convencional/densidade corte.

Tabela V - Rendimento de carvão energético em função do processo de beneficiamento

BRITAGEM	PROCESSO	RENDIMENTO CARVÃO ENERGÉTICO (%ROM)		
		30% Cz	35% Cz	40% Cz
3"	Tambor meio denso + ciclone meio denso + ciclone autógeno	29,8	45,9	60,7
	Separador meio denso + ciclone meio denso + ciclone autógeno	30,4	46,3	60,9
	Jigue Baun + ciclone autógeno	13,6	30,6	52,0
	Jigue moderno + ciclone autógeno	25,9	41,9	60,2
1 1/2"	Ciclone meio denso + ciclone autógeno	30,2	45,3	60,3
	Jigue Baun + ciclone autógeno	14,0	30,6	50,7
	Jigue moderno + ciclone autógeno	21,5	38,2	56,2
1/2"	Ciclone meio denso + ciclone autógeno	35,0	48,6	60,4
	Jigue Baun + ciclone autógeno	19,4	37,5	53,3
	Jigue moderno + ciclone autógeno	27,9	43,1	57,6

O rendimento em produtos da camada Bonito é muito sensível ao teor de cinzas, cujo aumento de 30% para 40% praticamente dobra o rendimento de carvão energético, permitindo o aproveitamento de partículas com densidade até aproximadamente 2,1.

A utilização de equipamentos de baixo erro de separação é de fundamental importância, principalmente para a obtenção de menores teores de cinza. A utilização de jiges Baum convencionais causa excessiva perda de carvão. De modo geral, os melhores resultados obtidos referem-se ao beneficiamento do carvão britado a 1/2". Contudo, a utilização de jiges modernos para o beneficiamento da fração 3" x 28 M aparece como um dos processos mais promissores, possibilitando a eliminação do estéril liberado (quase 30% em peso) e produzindo um "middling" que seria britado em 1/2" e relavado em ciclones de meio denso. O rendimento de produtos desta combinação de processos seria muito próximo ao do beneficiamento, em ciclones de meio denso, de todo o carvão ROM britado a -1/2", com a vantagem de menor custo operacional. A produção de carvão energético com 40% de cinza, dispensa esta relavagem dos "middlings".

As estimativas de rendimentos de produtos realizadas foram baseadas em uma amostra obtida por desmonte por explosivos.

Caso seja adotado o emprego de mineradores contínuos, a distribuição granulo-densimétrica do carvão deverá ser sensivelmente alterada, sendo recomendada, neste caso, a realização de outro estudo de lavabilidade em uma amostra "como minerada", obtida na lavra experimental.

4.7. Conclusões

O carvão da Camada Bonito, da Área Sul, possui alto potencial para a produção de carvão energético com baixo teor de enxofre. As possibilidades de produção de carvão metalúrgico são bem mais limitadas, necessitando para tanto de britagem fina e emprego de processos de pequeno erro de separação, principalmente para a fração 28 M x 200 M.

Apesar da amostra de galeria ter sido levemente alterada pela proximidade de diabásio, possui uma curva de lavabilidade praticamente coincidente com a dos testemunhos de sondagem para teores de cinza superiores a 30%, prestando-se ao cálculo de possibilidades de lavagem de carvão energético.

A produção de carvão energético com 40% a 42% de cinzas possibilita um melhor aproveitamento do carvão da Camada Bonito.

É de fundamental importância a utilização de equipamentos de pequeno erro de separação para o beneficiamento deste carvão. Um dos fluxogramas de processo mais promissores é a utilização de jiges modernos para descarte do estéril liberado do carvão 3" x 28 M, e produção de um "middling" para rebritagem e relavagem em ciclone de meio denso.

5. Bibliografia

- (1) AGUIAR, Sérgio Catão. Carvão lavra e tratamento; relatório de estágio. USA. V. 3.
- (2) ASMAN, R.G. Selection of coal washing equipment for maximum yield. s.l., s. ed. 1978.
- (3) BURTON, G. & LEFEBURE, A. Behaviour of ultra-fine material in different washing systems with an economic assessment of the results achieved. In: INTERNATIONAL COAL PREPARATION CONGRESS, 4. 1966. 9p.
- (4) COBRAPI. Projeto Mina D+E - Içara. Pesquisa geológica e concepção técnica preliminar. Belo Horizonte, out. 1983.
- (5) CPRM. Projeto carvão bonito gazeificável Porto Alegre, 1977.
- (6) DEURBROUCK, Albert W. Washing fine size coal in a dense-medium cyclone. Washington U.S. Bureau of Mines, 1977. 6 p.
- (7) DRAEGER, Ernest & COLLINS, James W. Efficient use of water only cyclone. Mining Engineering, 32 (8): 1215-17, Aug. 1980.
- (8) GEOKLOK. Avaliação geológica Mina D+E. Lay-out preliminar de lavra. Santa Catarina, Maio, 1982.
- (9) GOTTFRIED, Byron S. of JACOBSEN, P.S. Generalized distribution curve for characterizing the performance of coal-cleaning equipment. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, 1977. 21 p.
- (10) LEONARD, J. W. & MITCHELL, D. R. Coal Preparation. s.l., AIME, 1978. 948 p.
- (11) ZIMMERMAN, Raymond. Performance of batrac jig for cleaning fine and coarse coal sizes. Transactions. 258: 199-203, Sep. 1975.

Agradecimento

O autor agradece à Carbonífera Próspera S/A a liberação de dados de sua propriedade incluídos neste trabalho. Agradece também a colaboração recebida dos colegas da COBRAPI, especialmente aos engenheiros Paulo de Oliveira Luz e José Elísio Paixão.