

PRÉ CONCENTRAÇÃO DE CARVÃO MINERAL DA MINA DE MOATIZE COM TECNOLOGIA *SENSOR BASED SORTING*

Ariane S. KUERTEN¹; Carlos H. SAMPAIO²; Paulo R. N CONCEIÇÃO³; Eunírio F. ZANETTI⁴; Satyabrata MOHANTA⁵; Ipsita D. BEHERA⁶; Carlos O. PETTER⁷; Moacir VERAS⁸; Aaron YOUNG⁹;

¹Laboratório de Processamento Mineral - UFRGS, ariane.kuerten@ufrgs.br; ² Laboratório de Processamento Mineral - UFRGS, sampaiou@ufrgs.br; ³Laboratório de Processamento Mineral - UFRGS, paulo.conceicao@ufrgs.br, ⁴Pesquisador associado - Instituto Tecnológico Vale, eunirio.zanetti@itv.org, ⁵Indira Gandhi Institute of Technology, satyabrata.mohanta@rediffmail.com, ⁶Indira Gandhi Institute of Technology, ipsitadbehera@gmail.com, ⁷Laboratório de Processamento Mineral - UFRGS, cpetter@ufrgs.br, ⁸Instituto Federal do Amapá, moacir.veras@ufrgs.br, ⁹Laboratório de Processamento Mineral - UFRGS, aaronyoung@gmail.com

RESUMO

A concentração de carvão tem como objetivo promover a melhoria da qualidade e remoção de contaminantes indesejáveis para cada uma das suas aplicações. Os métodos de concentração existentes são selecionados conforme a qualidade do carvão, seu uso na indústria e custos de processamento, além de condições mercadológicas. Este trabalho consiste na avaliação da pré concentração de carvão mineral com utilização de tecnologia *Sensor Based Sorting*. Foi utilizada amostra de carvão mineral proveniente da Bacia carbonífera de Moatize, localizada na província de Tete, Moçambique. Os resultados apontaram para remoção de cerca de 10% da massa de carvão britado alimentado na planta da Vale na Mina de Moatize. A fração de 10% da massa removida apresentou teor de cinzas aproximado de 80%, reduzindo o teor de cinzas da corrente de alimentação em cerca de 10%, de 53 para 43%, na fração grosseira. A utilização do método pode trazer vantagens adicionais, tais como permitir o aumento da taxa de produção em virtude da remoção de 10% de rejeitos ainda na etapa de britagem. Outro aspecto importante do método é a não utilização de água na pré concentração, reduzindo custos de captação e bombeamento de água e minimizando impactos ao meio ambiente.

Palavras-chave: Carvão mineral; Pré concentração; Beneficiamento; *Sensor Based Sorting*;

ABSTRACT

The concentration of coal has as a main objective promote the quality increase and remove the waste or undesirable content for each of their application. There are different methods of beneficiation selected according it uses in the industry and processing costs, moreover the market conditions. This research investigates the pre-concentration of coal from Moatize Mine, located in Mozambique using the Sensor Based Sorting Technique. The results shows the removal of 10% mass, in coarse fraction, from Moatize Mine feed rate. The 10% of mass removed presented about 80% of ash content. Hence the coal ash content from feed plant decrease from 53 to 43%, in coarse fraction. Additional advantages could be achieved by the technique uses, like increase in production rate due to the removal of 10% of tailings still in crushing stages. Other important aspect is the technique do not uses water in pre-concentration, reducing costs of catchment and plumbing water, reducing the environmental impacts.

Key-Words: Coal; Dry destoning; Pre-concentration; *Sensor Based Sorting*.

1 INTRODUÇÃO

A mineração em áreas cada vez mais remotas e com minérios de mais baixo teor têm incentivado a pesquisa e desenvolvimento de novos métodos para a pré concentração, visando a redução de custos de transporte e processamento de rejeitos. A baixa disponibilidade de água tem promovido também o desenvolvimento de processos de concentração a seco. Pesquisadores e engenheiros, em todo o mundo,

vem buscando aumentar a eficiência de processos de beneficiamento mineral, reduzindo custos e melhorando o aproveitamento dos recursos.

O processo de separação mineral vem sendo realizado pelo homem, de forma manual, desde a idade da pedra. Desde o século XIX, no entanto, vêm sendo devolvidos métodos automáticos para classificação de materiais. Os primeiros equipamentos comerciais foram utilizados pela indústria de alimentos

na década de 30. De acordo com Salter & Wyatt, 1991, em 1931 a *Electric Sorter Machine Company* produziu uma máquina para separação eletromecânica, que tinha como objetivo a inspeção e classificação de ervilhas usando discriminação ótica, este foi, provavelmente, o primeiro equipamento de *Sorter* usado comercialmente. Na indústria de mineração, porém foram utilizados na extração de urânio, ouro e diamantes, a partir da década de 60. Somente recentemente, devido a melhora na velocidade do processamento de dados e tecnologia de processamento de imagens é que esta tecnologia volta a pesquisa e desenvolvimento na área de beneficiamento de minérios.

A automação e a tecnologia de sensores, podem ser aplicadas às diferentes etapas na indústria de mineração. Alguns tipos de sensores já são bastante conhecidos nas áreas de segurança e controle de qualidade. Nos últimos anos diversos autores têm estudado o uso de separadores automáticos na pré concentração de minerais com o uso de diferentes aplicações de radiação, mais conhecidos como *Sensor Based Sorting* (SBS). Os classificadores minerais analisam as partículas com relação a determinada propriedade de interesse, selecionando ou rejeitando os minerais que satisfaçam um critério pré-estabelecido. Para que a separação entre mineral de interesse e rejeito seja possível, estes devem apresentar diferenças significativas na propriedade utilizada como critério de classificação.

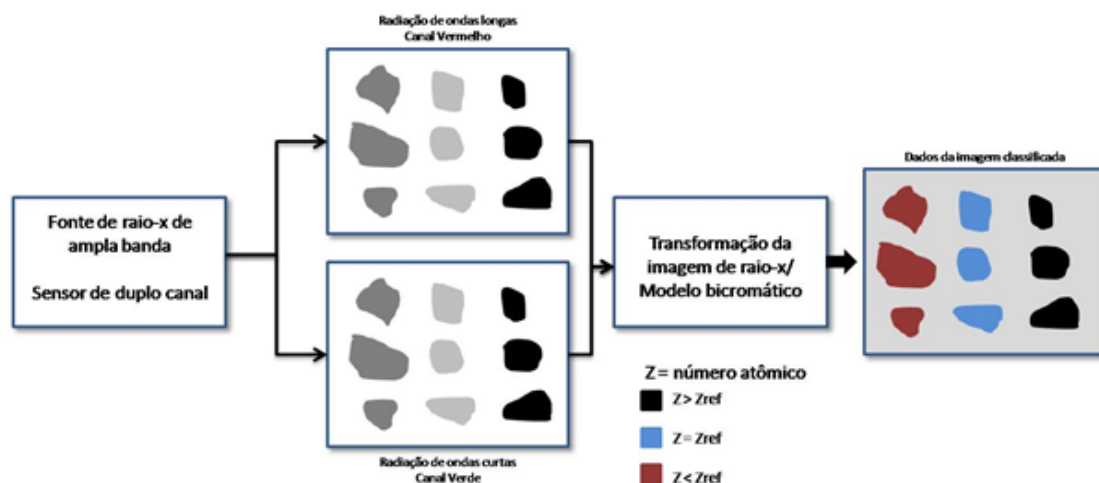
De modo simplificado o equipamento utilizado neste trabalho é equipado de um raio-x em transportador de correia que permite a avaliação e classificação de diferentes materiais por suas propriedades,

tais como cor, forma, textura, densidade, entre outras. O equipamento permite a identificação e separação de partículas em 2 frações, de acordo com o critério definido para identificar as partículas de interesse.

O SBS utiliza a radiação eletromagnética como princípio de funcionamento. Raios-x derivam de uma fonte que emite radiação em direção ao detector. Entre o detector e a fonte de radiação passa um fluxo de massa, em uma correia transportadora, por exemplo. O detector mede a intensidade de radiação x chegando em cada pixel e converte em intensidade de sinal eletromagnético. O software usa este sinal para criar imagens em escala de cinza nas quais os pixels escuros correspondem a alta absorção e os pixels brilhantes como baixa absorção. Baseada nesta imagem em escala de cinza o software cria uma falsa imagem colorida agrupando classes de intervalos de escala de cinza e assumindo cada classe como uma cor diferente. A figura 1 apresenta as etapas do processamento de dados pela tecnologia empregada.

Carvões são bastante heterogêneos na sua composição, um grande range de densidade é usualmente visto nas frentes de lavra. A heterogeneidade é evidente quando realizadas análises elementar, imediata e distribuição de tamanho. Devido a heterogeneidade dos carvões, partículas que apresentam baixo ou nenhum conteúdo de carbono estão misturadas ao carvão de excelente qualidade. Estas partículas podem representar uma parcela significativa do carvão ROM enviado a planta de beneficiamento, implicando em aumento do custo de produção no processamento de estéreis.

Figura 1. Etapas do processamento de dados.



Considerações econômicas e de mercado são fundamentais na decisão da metodologia utilizada no beneficiamento do carvão e do grau de concentração e/ou remoção de contaminantes a ser atingido.

A quantidade e qualidade do carvão beneficiado é dada pela operação da planta e por meio do cálculo teórico baseado no estudo de separabilidade densimétrica do carvão ROM, que se sabe é diferente para cada carvão. A partir da segunda metade do século passado engenheiros que atuam no beneficiamento de carvão têm desenvolvido métodos para prever a eficiência técnica e econômica de equipamentos de separação e limpeza de carvão, entretanto a avaliação da eficiência depende de fatores como a natureza do carvão e do projeto dos equipamentos.

Diante da disponibilidade de equipamentos comerciais utilizados na separação de minerais com altas taxas de produção, estima-se que a técnica de SBS possa ser utilizada na pré concentração de carvões Moçambicanos, com objetivo de reduzir a quantidade de rejeitos enviados a planta de beneficiamento. Este trabalho busca, portanto, avaliar a aplicação da tecnologia SBS para a pré concentração do carvão da camada UCB da mina de Moatize, localizada Moçambique, bem como determinar o potencial de redução da massa de rejeitos enviada a planta de beneficiamento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra empregada nesta pesquisa foi fornecida pela empresa Cia. Vale. Foi homogeneizada e quarteada manualmente. Realizou-se a determinação da distribuição granulométrica por peneiramento. A fração +25,4mm foi reservada para utilização neste trabalho.

Ensaio de separação em meio denso foram conduzidos para separação de amostras em três faixas distintas de densidade: -1,4, +1,8-1,9 e +2,2 g/cm³, os quais foram utilizados na calibração do equipamento de separação. Os resultados obtidos para a leitura das amostras de carvão nas três faixas de densidade investigadas, foram avaliados por meio de índices matemáticos aplicados a dados agrupados com intervalos de classes. Foram calculados a média e o desvio padrão para dados agrupados em intervalos de classe e, na sequência, foi calculado o coeficiente de variação de cada leitura realizada.

Da fração de trabalho foram selecionadas, por cata manual, 100 partículas, que foram numeradas

de 1 a 100. As partículas foram submetidas a identificação e separação em SBS. Após a realização da separação, as partículas foram individualmente classificadas em meio denso para determinação da densidade e verificação da seletividade da separação.

O equipamento de SBS utilizado neste trabalho é o modelo MSX-400 fornecido pela COMEX, o qual foi dimensionado para permitir o processamento do maior número de minerais possível, para tanto, possui curvas de calibração genéricas.

As amostras de mesma densidade foram cominuidas e analisadas quanto ao teor de cinzas, por faixa de densidade. Gráficos foram gerados a fim de facilitar a avaliação de desempenho da separação.

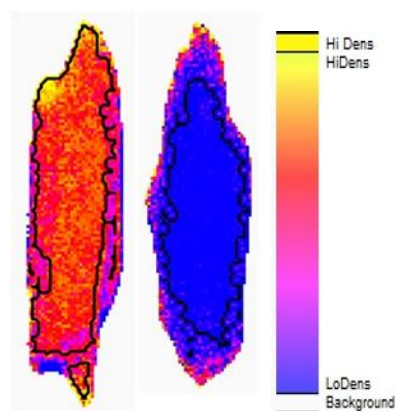
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VIABILIDADE DA SEPARAÇÃO EM SBS

Da distribuição granulométrica da amostra resultou que cerca de 34% do carvão ROM, da camada estudada, apresentava tamanho de partícula maior que 25,4mm.

Para calibração do equipamento de separação utilizou-se partículas anteriormente separadas em meio denso nas classes -1,4 e +2,2 g/cm³, como referência para produto e rejeito, respectivamente. Tais amostras foram identificadas através da curva *Default* para análise de quartzo-carbono. A figura 2 apresenta as imagens coloridas para as amostras -1,4 e +2,2 g/cm³, junto a escala de cores em função da densidade de partícula.

Figura 2. Imagens geradas na calibração.



A partir da figura 2 identifica-se a amostra de rejeito a esquerda, a qual apresenta coloração predominante alaranjada, enquanto a amostras de carvão de alta qualidade apresenta coloração predominante azul, a direita. A escala de cores é dada pelo *software*

para identificação da densidade da partícula. Além da imagem colorida das partículas, são fornecidos histogramas da contagem de pixels por faixa de cor, as quais são agrupadas e nomeadas como concentração de produto. Os histogramas obtidos para as amostras da figura 2 são apresentados sobrepostos na figura 3.

Observa-se, a partir da figura 3 a diferença relativa entre as amostras de $-1,4$ e $+2,2$ g/cm³, indicando uma possível facilidade na separação.

Nesta pesquisa, a propriedade utilizada para diferenciar tipos de carvões é a presença de carbono e quartzo, que estão diretamente relacionados as densidades apresentadas. Sabe-se, no entanto, que existem distorções possíveis nas imagens geradas através da aplicação de radiação sobre objetos, por exemplo aquelas distorções que dizem respeito a geometria existente entre a amostra, a fonte de emissão e o detector de radiação.

Foram realizados testes para verificar a precisão da leitura do equipamento com foco na aplicação à pré concentração de carvão. Os primeiros testes foram realizados a fim de verificar a influência da posição relativa das partículas na correia transportadora. Uma mesma amostra foi disposta em 6 diferentes posições, transversalmente a correia. A primeira etapa do teste está demonstrada na figura 4, onde um *grid*

imaginário de posicionamento foi criado sobre a correia. Sucessivamente a partícula foi movimentada para a posição seguinte sem alteração da face voltada para o sensor. Após coletadas as informações para cada uma das 6 posições sobre a correia, a partícula foi girada 90° da sua posição inicial e novamente analisada em cada uma das 6 posições. Foram realizadas análises com 4 diferentes posições da partícula, nas 6 diferentes posições da correia transportadora dadas pelo *grid*.

Para cada posição da partícula foi obtido seu histograma de número de pixels por concentração de produto. O teste foi realizado com 3 partículas aleatórias de carvão, identificadas como A, B e C. Para cada partícula foram coletados 24 histogramas, totalizando 72 histogramas para as 3 partículas analisadas.

De modo a avaliar os dados obtidos quanto a existência de uma posição ao longo da correia que ofereça uma maior precisão na leitura das partículas, foram calculados a média e o desvio padrão para dados agrupados em intervalos de classe e na sequência foi calculado o coeficiente de variação (CV) de cada leitura realizada. O coeficiente de variação mede a dispersão dos dados em relação à média, logo, quanto menor o coeficiente de variação, menor a dispersão dos dados ou, neste caso, maior a precisão da leitura da partícula em uma dada posição sobre a correia.

Figura 3. Histogramas das amostras de calibração.

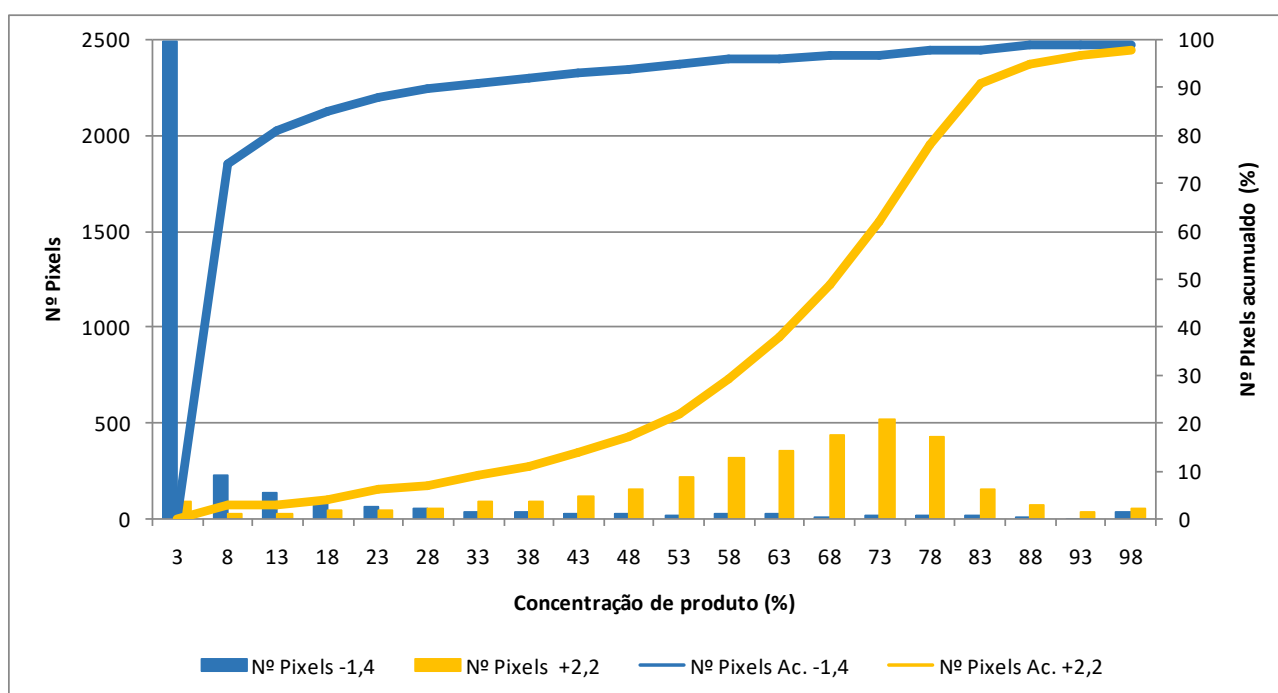
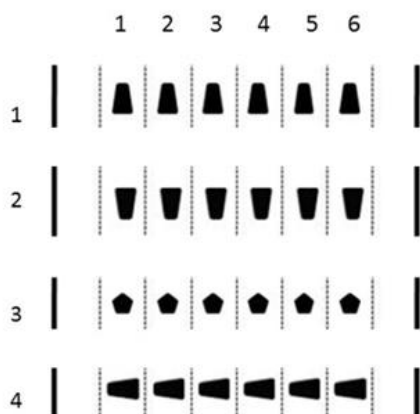


Figura 4. Grid para análise da influência da posição sobre a correia transportadora.



A posição 3 apresentou a maior frequência de menor CV, entretanto as posições 5 e 6 também aparecem com menor valor CV nas leituras realizadas. Outro ponto relevante levantado a partir do cálculo do CV é que as posições 3 e 4 são equidistantes das bordas da correia transportadora e igualmente centralizadas. Se considerarmos a geometria existente entre a partícula, emissor e detectores, espera-se que se a posição central da esteira apresente uma maior precisão de leitura pelo equipamento. Neste caso, as medidas nas posições 3 e 4 seriam semelhantes e mais precisas que as leituras nas posições 1, 2, 5 e 6, mais distantes do centro da correia transportadora. Se esta afirmação fosse verdadeira os menores valores de CV calculados deveriam estar nas posições 3 e 4. Portanto, diante dos resultados obtidos não é possível afirmar que existe uma posição ao longo da correia transportadora que promova uma maior precisão na leitura das partículas de carvão.

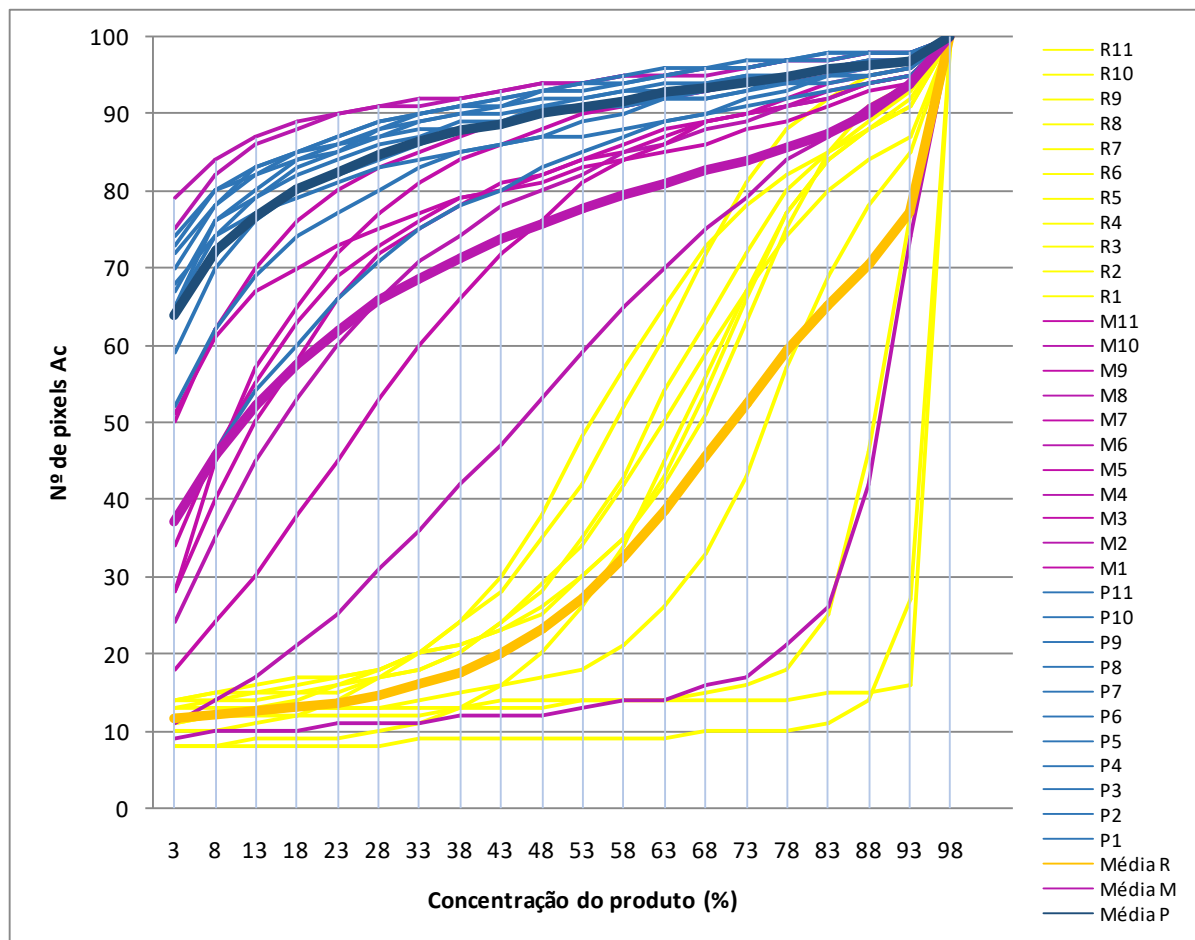
A repetibilidade da leitura das partículas pelo equipamento é outra variável importante a ser investigada. Para análise da repetibilidade dos resultados foram investigadas partículas de carvão de diferentes qualidades, representativas das densidades $-1,4 \text{ g/cm}^3$, $+1,8 - 1,9 \text{ g/cm}^3$, $+2,2 \text{ g/cm}^3$, em três posições distintas sobre a esteira. Cada partícula foi disposta sobre a correia na posição central, esquerda e direita no sentido do fluxo da correia transportadora. A leitura se deu através de 10 análises sucessivas da partícula em um mesmo posicionamento, em cada ponto da esteira. A variabilidade da leitura não se mostrou significativa para uma amostra em uma mesma posição na esteira, entretanto, uma mesma partícula pode apresentar uma significativa diferença da contagem de pixels nas faixas de concentração de produto mais baixas, nas diferentes posições sobre a

correia. Estima-se que este fenômeno está relacionado ao efeito da irregularidade da borda da partícula. Como menores densidades estão relacionadas a menor absorção de raio-x, que na escala de cores utilizada pelo *software* do equipamento está representado pela cor azul estima-se que a variação na quantidade de pixels justamente nas faixas mais baixas de concentração deve-se ao efeito da irregularidade da borda da partícula.

Diante da investigação conduzida observou-se que há uma variabilidade significativa quando da identificação da propriedade densidade das partículas de carvão de Moatize no equipamento utilizado. É sabido que todos os processos industriais de concentração de minério apresentam imperfeição em maior ou menor grau, dependendo do minério e suas características e de fatores operacionais. Busca-se, portanto, verificar qual o impacto da variabilidade sobre a separação do carvão de Moatize no equipamento estudado.

Foram selecionadas 11 partículas em 3 faixas de densidade, sendo $-1,4$, $+1,8-1,9$ e $+2,2 \text{ g/cm}^3$. As amostras foram identificadas e seus histogramas sobrepostos a fim de avaliar as diferenças relativas na contagem de pixels por faixa de concentração de produto, podendo assim prever a facilidade /dificuldade de separação entre elas. A figura 5 apresenta a sobreposição dos histogramas citados.

Na figura 5 estão apresentadas em azul as curvas obtidas para as amostras de carvão com densidade $-1,4 \text{ g/cm}^3$, com a curva média calculada apresentada em maior espessura, também na cor azul. Em rosa estão apresentadas as curvas obtidas para as amostras de carvão de densidade $+1,8-1,9 \text{ g/cm}^3$, com sua respectiva curva média calculada em maior espessura. O mesmo ocorre para as amostras de densidade $+2,2 \text{ g/cm}^3$ apresentadas em amarelo. É possível observar que, apesar das curvas médias serem bastante distintas entre si, algumas partículas de densidade $+1,8-1,9 \text{ g/cm}^3$ apresentam características muito semelhantes às de densidade $-1,4 \text{ g/cm}^3$, indicando que a separação destas duas classes pode ser muito difícil de ser realizada. As partículas de densidade $+1,8-1,9 \text{ g/cm}^3$, identificadas como M2 e M10 apresentaram a maior quantidade de pixels já nos primeiros intervalos de concentração de produto, valores maiores que os obtidos para as partículas de densidade $-1,4 \text{ g/cm}^3$, inclusive.

Figura 5. Histogramas das partículas -1,4, +1,8-1,9 e 2,2 g/cm³.


A curva média obtida para as partículas com densidade +2,2 g/cm³ se apresenta no gráfico com uma grande distância das demais indicando uma maior facilidade de separação das partículas desta classe, porém a partícula de densidade intermediária identificada como M4 apresenta uma curva similar a das +2,2 g/cm³ e, portanto, espera-se que seja classificada pelo equipamento como tal.

Os resultados obtidos através da identificação das amostras por SBS, de três diferentes classes de densidades de material grosseiro presente no carvão ROM da mina de Moatize, indicam que é possível realizar a separação de carvões de boa/intermediária qualidade de rejeitos rochosos.

3.2 TESTE DE SEPARAÇÃO EM TEMPO REAL

Testes de identificação e separação em *Sorter*, foram realizados com as partículas das 3 faixas de densidade de trabalho. A calibração do equipamento foi realizada com partículas de carvão de densidade -1,4 g/cm³, representante do produto e +2,2 g/cm³, representante dos rejeitos. O critério de corte seletivo

para produtos e rejeitos foi estabelecido para separar as partículas que contivessem ao menos 35% dos pixels na faixa de 1 - 60 na escala de densidade relativa, ou seja, a partícula de produto tem a maior parte de seus pixels na faixa de tons que vai de 1 a 60, de uma escala que vai até 255. As amostras foram analisadas variando a posição sobre a correia, esquerda, centro e direita no sentido do fluxo da correia transportadora. De 11 partículas de carvão -1,4 g/cm³, apenas uma apresentou menos de 35% dos pixels na faixa de 1 – 60, nas posições centro e direita, sobre a correia transportadora. Pode-se atribuir este desvio ao erro de leitura do equipamento, em função da variabilidade de leitura identificada anteriormente. As 11 amostras de densidade +2,2 g/cm³ não foram separadas em nenhuma posição na esteira, por apresentarem características muito distintas daquelas estabelecidas no critério de corte. Das 11 partículas de densidade intermediária (+1,8-1,9 g/cm³), apenas 8 foram separadas em todas as posições sobre a esteira. As 3 partículas não selecionadas não tiveram sua seleção influenciada pela posição sobre a correia transportadora. As imagens destas amostras se apre-

sentaram predominantemente amarelas, cor atribuída as amostras de alta densidade em análises em tempo real. Os resultados demonstraram que é possível separar carvões de alta qualidade de rochas, com baixas perdas de carvão de baixa qualidade.

Teste semelhante foi realizado utilizando-se como critério de corte/seleção 85% de pixels na faixa de 61 – 220 na escala de densidade relativa, com objetivo de alcançar maior seletividade na separação de rejeitos rochosos. 100% da massa de rejeitos analisada foi separada. Cerca de 13% da massa de material de densidade intermediária foi separada, nas três diferentes posições sobre a correia transportadora. Nenhuma amostra de carvão de alta qualidade foi selecionada.

A partir dos testes de separação realizados o critério de separação de rochas X carvão do Moatize que se apresentou mais vantajoso no sentido de separar os dois materiais reduzindo as perdas de carvão na corrente de rejeitos foi selecionar os rejeitos que apresentarem ao menos 85% da contagem dos pixels nas faixas de concentração produto acima de 60 (na escala que vai até 255).

3.3. TESTE DE DESEMPENHO

Um teste de separação em tempo real foi conduzido a fim de se determinar o potencial de separação de rejeitos rochosos da fração grosseira da camada UCB. Cerca de 9 kg de amostras foram submetidas a identificação e separação com critério de corte

de 85% da contagem de pixels na faixa entre 60 - 220 da escala de densidade relativa. Após o teste as amostras foram submetidas a ensaios de separação em meio denso para se verificar o desempenho da separação. Na sequência, as amostras, de cada faixa de densidade, foram analisadas quanto ao teor de cinzas, cujos dados estão apresentados na tabela 1.

A análise da distribuição granulométrica do ROM, apresentou cerca de 35% da massa retida em 25,4mm. O percentual de massa de ROM por faixa de densidade que compõem o ROM está apresentado na última coluna da tabela 1.

Não foram identificadas amostras de densidade -1,4 g/cm³. Observa-se que a densidade -1,5 g/cm³ o teor de cinzas é de 24,7%, acredita-se que o alto teor de cinzas se deve ao tamanho de partícula estudado. O teor médio de cinzas da fração estudada é 53,1%.

A partir dos dados da tabela 1 foi possível elaborar os gráficos apresentados na figura 06, onde a curva densimétrica e do NGM (*near gravity material*) seguem apresentados a esquerda. As curvas dos afundados e flutuados X teor de cinzas, estão apresentadas a direita.

De 100 partículas analisadas, 18 foram separadas para o critério de corte estabelecido. Quando submetidas a ensaio de separação em meio denso, 78% destas partículas apresentaram densidade +2,0 g/cm³.

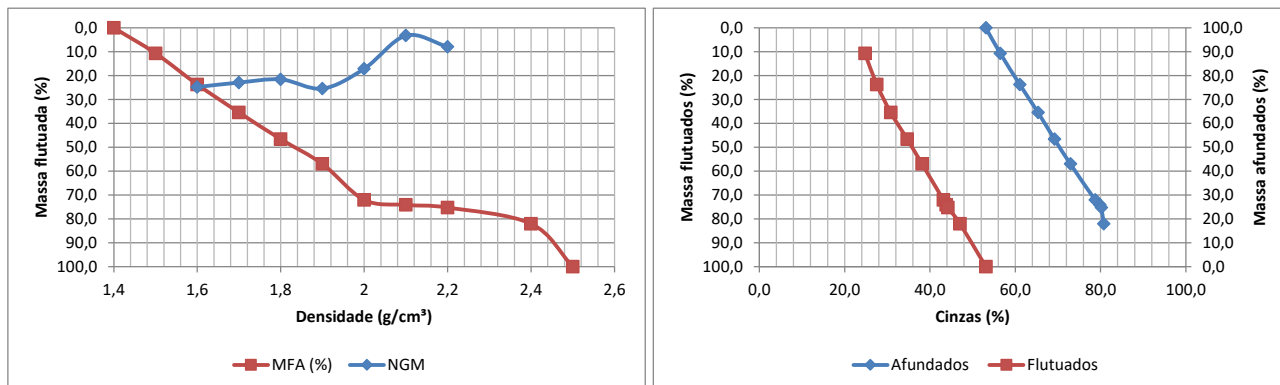
Tabela 1. Teor de cinzas for faixa de densidade.

Densidade	Massa flutuada (kg)	Massa afundada (kg)	Massa flutuada simples (%)	Massa flutuada acumulada (%)	Cinzas (%)	Massa do ROM (%)
1,4	0,0	9.347,5	0,0	0,0	0,00	
1,5	996,6	8.350,9	10,7	10,7	24,74	3,7
1,6	1.218,5	7.132,4	13,0	23,7	29,80	4,5
1,7	1.096,5	6.035,9	11,7	35,4	37,37	4,1
1,8	1.044,4	4.991,5	11,2	46,6	46,98	3,9
1,9	971,4	4.020,1	10,4	57,0	53,69	3,6
2,0	1.404,9	2.615,2	15,0	72,0	62,13	5,2
2,1	196,8	2.418,4	2,1	74,1	65,27	0,7
2,2	104,5	2.313,9	1,1	75,2	71,95	0,4
2,4	633,8	1.680,1	6,8	82,0	78,63	2,4
2,5	1.680,1	0,0	18,0	100,0	80,75	6,2
Total	9.347,5			100	53,10	34,8

Se considerarmos que o corte se deu a densidade de $2,0 \text{ g/cm}^3$, pode-se extrair da figura 06 as massas e teores de cinzas para produto e rejeito classificados. A fração $-2,0 \text{ g/cm}^3$, representa 25% da massa de ROM dentro da faixa granulométrica estudada, apresenta 43,1% de teor de cinzas. A fração

$+2,0 \text{ g/cm}^3$, que representa 9,7% da massa de ROM, dentro da faixa de granulometria estudada, apresenta 78,7% de teor de cinzas. Através da curva dos NGM pode-se esperar uma maior facilidade de processar os carvões estudados, por métodos gravimétricos, com teor de corte próximo a $2,1 \text{ g/cm}^3$.

Figura 6. Curva densimétrica e NGM, afundados e flutuados da amostra estudada.



4 CONCLUSÃO

Os testes para verificação da precisão e repetibilidade da identificação de materiais pelo equipamento demonstraram uma variabilidade significativa. No entanto, os testes de separação de rochas X carvão por SBS, mostraram ser possível reduzir o teor de cinzas da alimentação de minério ROM, por meio da remoção de minério de baixa qualidade (rejeitos), presente na fração mais grosseira (+25,4mm).

Os resultados da identificação e separação em *Sorter* demonstraram que é possível remover cerca de 10% da massa de ROM, alimentada a planta de beneficiamento. O teor de cinzas da massa removida foi de 79%. O teor de cinzas da fração grosseira do ROM reduziu em cerca de 10 pontos percentuais, alcançando 43% na fração $-2,0 \text{ g/cm}^3$.

Conclui-se, portanto, que a técnica de identificação e separação de rochas de carvão ROM por SBS mostra-se vantajosa no que diz respeito a redução da quantidade de rejeitos enviados a planta de processamento e, conseqüentemente, permite reduzir os custos operacionais, além de melhorar a qualidade do carvão processado.

Outro benefício possível a partir da remoção de 10% dos rejeitos nas etapas preliminares de beneficiamento é o aumento da capacidade de processamento de carvão na planta atual.

É importante ressaltar que este estudo foi realizado em um equipamento de SBS com aplicação

em diferentes tipos de minérios e que, no caso de utilização de um equipamento destinado a identificação e classificação exclusiva dos carvões de Moatize, espera-se um resultado ainda melhor no que diz respeito a quantidade e qualidade dos rejeitos removidos, permitindo, assim, uma redução maior no teor de cinzas do carvão alimentado a planta de beneficiamento.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM - D4371 - 06: Standard test method for determining the washability characteristics of coal.

ASTM - D3174: Standard test method for ash in the analysis sample of coal and coke from coal.

RUBIO, J.. Carvão Mineral: Caracterização e Beneficiamento. Volume 1, Nova Linha Artes Gráficas, Porto Alegre, 1988.

SAMPAIO, C.H. e TAVARES, L. M.M. Beneficiamento Gravimétrico: Uma Introdução aos Processos de Concentração Mineral e Reciclagem de Materiais por Densidade, Editora: UFRGS, Porto Alegre. 2005.

COAL PREPARATION. The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Fourth Edition.1979.

HATTON, W., FARDELL, A. New discoveries of coal in Mozambique: Development of the coal resource es-

timization methodology for International Resource Reporting Standards, *International Journal of Coal Geology* 89 (2012) 2–12.

VASCONCELOS, L., MUCHANGOS, A., SIQUELA, E. Elementos traços em cinzas de carvões aflorantes de Moçambique. *Geochimica Brasiliensis*, 23 (3) 344-361, 2009.

CAIRNCROSS, B. An overview of the Permian (Karoo) coal deposits of southern Africa. *African Earth Sciences* 33 (2001) 529–562.

LAKSHMINARAYANA, G. Geology of Barcode type coking coal seams, Mecondezi sub-basin, Moatize Coalfield, Mozambique. *International Journal of Coal Geology* 146, 1–13, 2015.

ROBBEN, C., KORTE, J., WOTRUBA, H., ROBBEN, M., Experiences in dry coarse coal separation using x-ray-transmission-based-sorting. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 34: 210-219, 2014.

Sensor technologies: Impulses for the raw materials industry. Karl Nienhaus; Ythomas Pretz, Hermann Wotruba (eds.). Aachen, 2014.

SALTER, J.D.; WYATT, N.P.G., Sorting in the minerals industry: past, present and future. *Minerals Engineering*, Vol. 4, Nos 7-11, pp. 779-796, 1991.

WILLS, B.A., NAPIER-MUNN, T., *Will's Mineral Processing Technology*. Seventh Edition, 2005.

WILLS, B. A. *Mineral Processing Technology: an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery*. Oxford, 1997.

Key World Energy Statistics 2014, Published by International Energy Agency IEA.

The Coal Resource: A Comprehensive Overview of Coal, Published by World Coal Institute, 2005.