

ANÁLISE DO SISTEMA DE REAGENTES NA FLOTAÇÃO DE FINOS DE CARVÃO MINERAL DE MOATIZE/MOÇAMBIQUE

Amilton CASTRO¹; Irineu BRUM²; Eunirio ZANETTI³; Pedro ZANCAN⁴; Diego JOHANN⁵

¹Instituto Superior Politécnico de Tete, amiltondcastro@gmail.com; ²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, irineu.brum@ufrgs.br;

³Instituto Tecnológico Vale, eunirio.zanetti@itv.org; ⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pedro.zancan@ufrgs.br;

⁵Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dfjohann@gmail.com

RESUMO

Este estudo foi feito a partir de uma amostra de carvão do distrito de Moatize, Província de Tete/Moçambique. O trabalho tem como objetivo analisar o sistema de reagentes na flotação de finos de carvão mineral pertencente à camada superior da jazida. Dentre os métodos de beneficiamento de carvão, a flotação se destaca como um dos mais importantes para a concentração deste material, em particular no tratamento de partículas finas. O sistema analisado apresenta uma alimentação total, na planta de processamento, de 8000 tph de minério, onde 10% corresponde a fração fina que alimenta o circuito de flotação. O material utilizado nesse estudo apresentou uma granulometria 96% menor do que 0,25 mm. Os reagentes utilizados nos ensaios de flotação foram Betacol e óleo diesel como agentes hidrofobizantes e MIBC como espumante. O intervalo de concentrações de Betacol na primeira fase de ensaios foi de 200 g/t a 500 g/t. Na segunda fase foi utilizado óleo diesel com concentrações variando de 200 g/t à 500 g/t e manteve-se constante o MIBC em 300 g/t. A análise imediata seguiu as normas Brasileiras: NBR 8289, NBR 8293, NBR 8290, NBR 8299. Os resultados mostraram que é possível, a partir de uma alimentação com o teor de cinzas em torno de 22,8%, obter produtos com teores menores do que 10% de cinzas e com recuperação mássica em torno de 50%. A recuperação de matéria carbonosa também foi avaliada e apresentou resultados positivos. Complementando esse estudo, foi avaliado o efeito da recuperação de H₂O e foi observado que para as concentrações de Betacol as recuperações variaram de 6 a 9%, e para óleo diesel mais MIBC foram de 4 a 7%.

Palavras-chave: Carvão mineral. Flotação. Reagentes.

ABSTRACT (ABSTRACT, 9 PTS NEGRITO, ITÁLICO, ESPAÇAMENTO 22 PTS ANTES E 12 PTS DEPOIS)

This study was done from a sample of coal mined at the Vale-Mozambique mine, located in Moatize district, Tete Province. The aim of this work is to analyze the reagent system in the flotation of coal fines belonging to the UCB layer. Among coal processing methods, flotation stands out as one of the most important for the concentration of this material, in particular in the treatment of fine particles. The total feed of the Vale-Mozambique processing plant is 8000 tph of coal, where 10% of this feed corresponds to the fine fraction that feeds the flotation circuit. The material used in this study had a particle size of 96% smaller than 0.25 mm. The reagents used in the flotation tests were betacol and diesel oil as hydrophobizing agents and MIBC as frother. The range of betacol concentrations in the first test phase was 200 g / t at 500 g / t, and in the second phase 200 g / t at 500 g / t of diesel oil and MIBC were kept constant at 300 g / t. The immediate analysis followed the Brazilian standards: NBR 8289, NBR 8293, NBR 8290, NBR 8299. The results showed that it is possible, from a feed with the ash content around 22.84%, to obtain products with levels below of 10% ash, with a mass recovery around 50%. The recovery of carbonaceous matter was also evaluated and presented positive results. Complementing this study, the effect of H₂O recovery was evaluated and it was observed that for the concentrations of betacol the recoveries ranged from 6 to 9%, and for diesel oil plus MIBC were 4 to 7%.

Key-Words: Coal. Flotation. Reagents.

1 INTRODUÇÃO

Considerando o aumento populacional e o consumo de energia como qual a humanidade vem

convivendo ao longo das últimas décadas e a conseqüente demanda de recursos naturais não renováveis, fica patente o desafio da indústria mineral na busca de novas tecnologias e

aprimoramento das já existentes. Este desafio se justifica pelas necessidades de melhores resultados industriais e para atender às especificações de mercado, levando-se em consideração a escassez de jazidas com teores mais altos e a necessidade de beneficiamento de minérios mais complexos, teores mais baixos e granulometria de liberação menor.

Diante dessa conjuntura, a flotação em espuma, ou simplesmente flotação destaca-se como um dos mais importantes e versáteis meios de processamento mineral uma vez que sua aplicação se estende a uma grande variedade de minérios com diferentes granulometrias, composições químicas, mineralógicas e, principalmente, diferentes propriedades físico-químicas.

A separação de minerais por flotação envolve concentração seletiva de mineralshidrofóbicosna espuma. A seletividade baseia-se em diferenças de capacidade de molhabilidade dosminerais tratados,com partículas hidrofóbicas sendo capazesde aderir às bolhas de ar.

O processo é realizado em um reator, e as condições necessárias para uma boa aderência é a dispersão eficaz de partículas e as bolhas de ar ao longo do volume da célula, e o acompanhamento das condições hidrodinâmicas necessárias para a colisão, adesão e transporte. No entanto, partículas muito finas também podem se reportar a espuma por arraste hidráulico. Deste modo, a selectividade global é determinada pelasdiferenças nas taxas de flotação com que as partículas minerais diferentes são carregadas para o produto final.

A cinética de flotação envolve vários processos de transferência de massa como:transferência selectiva de material a partir da polpa para a espuma por adesão partícula – bolha; transferência nãoselectiva de material a partir da polpa para a espuma por arraste mecânico e hidráulico; retorno (seletiva e não seletiva) do material para a polpa através de drenagem de espuma.

Este processo tem sido muito estudado por vários pesquisadores ao longo do tempo, e diferentes unidades têm sido desenvolvidas para a otimização e controle do processo.

Um dos objetivos deste estudo é analisar o sistema de reagentes na flotação da fração fina do carvão da camada UCB pertencente à mineradora Vale-Moçambique, para recuperar o máximo da

matéria carbonosa e reduzir o nível de cinzas. As variáveis analisadas foram as dosagens dos coletores e espumantes empregados.

As concentrações de betacol empregados na primeira fase de ensaios variaram entre 200 g/t a 500 g/t, e na segunda fase dos ensaios variou-se o óleo diesel de 200 g/t a 500g/t e manteve-se constante o MIBC em 300 g/t.

Os resultados mostraram que é possível, a partir de uma alimentação com o teor de cinzas em torno de 22,84%, obter produtos com teores de cinzas menores do que 10% e recuperação mássica em torno de 50%.

Por fim é importante considerar o impacto econômico do aumento de recuperação de carvão no sistema produtivo. Na tabela 1 é possível avaliar a relevância econômica do aumento da recuperação de finos em um projeto com escala de produção anual prevista de 20.000.000 toneladas, com alimentação de ROM necessária de 52.000.000 toneladas.

A cada 0,5% de aumento da recuperação, o faturamento chega a US\$ 2.000.000,00 a mais por ano, considerando preço de US\$ 80,00/ton de carvão metalúrgico. Em 2017 o preço mínimo observado foi de US\$ 140,00/ton. A variação no preço do carvão está associada a problemas de mudanças de legislações trabalhistas na China e demanda global de carvão metalúrgico na Índia, Japão e Europa.

Tabela 1 - Avaliação financeira bruta de cenários econômicos dos preços de carvão metalúrgico no mercado mundial de commodities de carvão metalúrgico.

Aumento Rec. Massa	Tonelagem adicional	Preço est. Carvão Metalúrgico (US\$/ton)				
Massa adicional de finos (%)	Carvão met. (ton)	80	100	150	200	250
0,50	26.216,0	2.097.280,0	2.621.600,0	3.932.400,0	5.243.200,0	6.554.000,0
1,00	52.632,0	4.210.560,0	5.263.200,0	7.894.800,0	10.526.400,0	13.158.000,0
1,50	78.848,0	6.307.840,0	7.884.800,0	11.827.200,0	15.769.600,0	19.712.000,0
2,00	105.264,0	8.421.120,0	10.526.400,0	15.789.600,0	21.052.800,0	26.316.000,0
2,50	131.480,0	10.518.400,0	13.148.000,0	19.722.000,0	26.296.000,0	32.870.000,0

Neste contexto a Empresa mineradora se obriga a adequar-se a cenários econômicos que variam de acordo com a conjuntura mundial, ciclos econômicos de oferta e demanda, geopolítica mundial, etc. O aumento da recuperação em massa, sem perda de seletividade, é uma necessidade fundamental para o sucesso econômico de qualquer empreendimento de mineração, reduzindo rejeitos dispostos em barragens e aumentando a

recuperação na extração da mina e na redução do custo unitário de produção.

OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é analisar o sistema de reagentes na flotação do carvão de Moatize, sua adequação para a recuperação da fração fina de parte do carvão (ROM) da camada UCB proveniente da lavra a céu aberto, para obter um produto adequado de acordo com as especificações do mercado, tendo em conta um teor baixo de cinzas e máxima recuperação mássica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter por flotação uma recuperação de massa no flotado em torno de 50%, e um concentrado de carvão com teor de cinzas abaixo de 10%;
- Definir a melhor concentração dos reagentes, Comparando betacol com óleo diesel mais MIBC;
- Analisar o efeito de recuperação de água;

2 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Processamento Mineral (LAPROM), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. As amostras utilizadas pertencem a camada UCB, e fazem parte da alimentação (ROM) do processo de beneficiamento do carvão da mina Vale-Moçambique. O material foi recebido em tambores com uma granulometria 100% passante em 50 mm e seco a temperatura ambiente. Após a etapa de secagem o carvão homogeneizado foi colocado em tambores menores com 100 kg de carvão cada, constituindo uma amostra representativa. Para os ensaios de flotação, foram utilizados dois tambores com aproximadamente 200 kg de carvão. Esse material, após secagem em estufa a uma temperatura de 45°C, foi peneirado para obtenção da fração menor do que 0,25mm.

Os ensaios de flotação convencional em escala de bancada utilizaram uma máquina de flotação do tipo CDC série CFB; modelo CEB-1000-EENBA e uma célula acrílica de 4 litros. A velocidade de agitação no condicionamento e flotação foi mantida em 1000 rpm, vazão de ar de 4 litros por minuto, concentração de sólidos de 4%, com pH da polpa natural variando de 5 à 6.

Estes ensaios visavam simular o sistema industrial de flotação, com adição de reagentes na

etapa rougher (R) e na etapa scavenger (SV). As concentrações de reagentes mostradas na tabela 2 foram determinadas em ensaios preliminares de flotação, os quais definiram as melhores concentrações de reagentes visando uma adequada alta recuperação mássica com menor teor de cinzas.

Tabela 2 - Concentrações de reagentes dos ensaios específicos de flotação

Ensaio	Betacol (g/t)	Ensaio	O.Diesel + MIBC (g/t)
A1	R: 400 - SV: 200	B1	R/SV: 200 (OD) R/SV: 300 (MIBC)
A2	R: 400 - SV: 300	B2	R/SV: 300 (OD) R/SV: 300 (MIBC)
A3	R: 400 - SV: 400	B3	R/SV: 400 (OD) R/SV: 300 (MIBC)
A4	R: 400 - SV: 500	B4	R/SV: 500 (OD) R/SV: 300 (MIBC)

Todos os ensaios foram avaliados com base em parâmetros de separações, sendo que foram considerados: recuperação mássica, recuperação da matéria carbonosa, recuperação da água, bem como teores de cinzas e voláteis.

O método utilizado para os ensaios específicos de flotação foi baseado nas combinações de reagentes apresentados na tabela 1, variando deste modo as concentrações dos hidrofobizantes e espumantes. O processo de flotação consistiu em duas etapas, realizadas no mesmo ensaio, os primeiros dois minutos de flotação foram considerados como a etapa *rougher* e os três restantes a etapa *scavenger*,

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os experimentos foram feitos em duas fases, cada uma delas com quatro ensaios de flotação divididos em duas etapas: *rougher* e *scavenger*. Na primeira fase de ensaio utilizou-se o reagente betacol e na segunda fase óleo diesel mais MIBC. As duas etapas correspondem ao mesmo ensaio de flotação com 2 minutos no *rougher* e 3 minutos para o *scavenger*, ao todo cada ensaio corresponde a 5 minutos. Essa divisão foi feita porque após o segundo minuto de flotação no *rougher* não era obtido massa suficiente para ser analisada. O mesmo acontecia após o terceiro minuto de flotação *scavenger*.

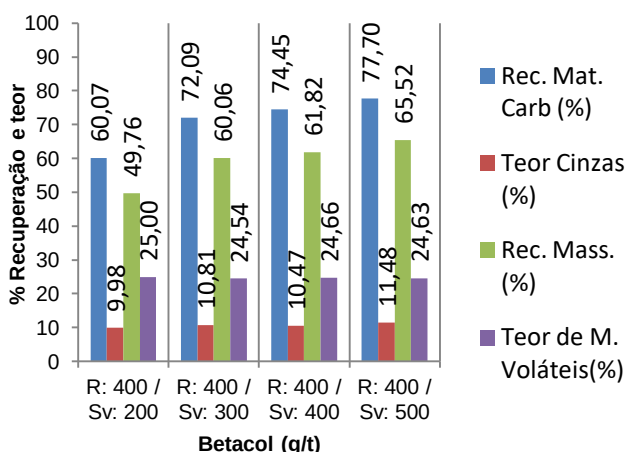
Assim sendo, os gráficos que mostram resultado “*rougher*” possuem apenas dois pontos e os resultados “*scavenger*” três pontos.

3.1 ENSAIOS ESPECÍFICOS DE FLOTAÇÃO COM BETACOL

Os primeiros ensaios foram realizados com o reagente Betacol, fixando a sua concentração na etapa *rougher* e variando na etapa *scavenger*.

A análise da figura 1 mostra que os valores percentuais dos teores de cinzas e teores de materiais voláteis são praticamente constantes, verificando-se um acréscimo dos valores percentuais de recuperações mássicas e matéria carbonosa na medida em que aumenta as concentrações dos reagentes.

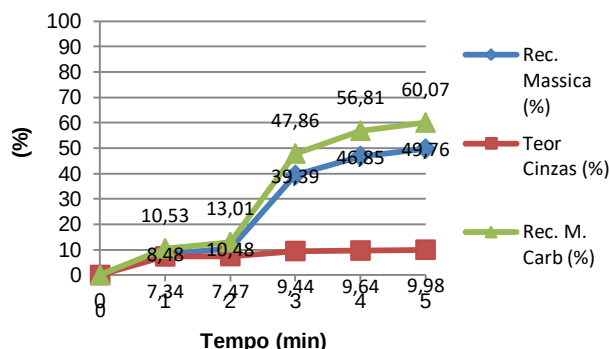
Figura 1. Ensaios específicos de flotação: Valores acumulados das recuperações mássicas, matéria carbonosa, teores de cinzas e matéria voláteis variando a concentração do reagente betacol.



Nos testes com Betacol o ensaio com as concentrações de 400 g/t no *rougher* e 200 g/t no *scavenger* foi selecionado como o melhor resultado devido ao seu melhor desempenho. Neste ensaio a recuperação de massa e teor de cinzas foram 49,76% e 9,98% respectivamente, o que permitiu alcançar os objetivos específicos do trabalho, com o menor consumo de Betacol quando comparado com os outros ensaios.

Na figura 2, pode-se verificar que os valores de teores de cinzas nos primeiros dois minutos (etapa *rougher*) foram praticamente iguais, havendo de seguida um aumento para 9,98% até o último minuto da etapa *scavenger* com uma recuperação mássica de 49,76% contra os 60,07% de recuperação da matéria carbonosa.

Figura 2. Recuperação mássica, de matéria carbonosa e teor de cinzas em função do tempo, com Betacol 400 g/t – 200 g/t.



3.2 ENSAIOS ESPECÍFICOS DE FLOTAÇÃO COM ÓLEO DIESEL E MIBC

Para a combinação óleo diesel - MIBC, a concentração de espumante foi fixada em 300 g/t e foi variada a concentração de óleo diesel entre 200 g/t e 500 g/t. Os ensaios desta etapa do estudo seguiram os mesmos parâmetros operacionais e de execução que os anteriormente realizados.

De acordo com a figura 3, é possível observar que os valores percentuais dos teores de cinzas e teores de materiais voláteis são praticamente constantes em todos ensaios, verificando-se que para os ensaios 200 g/t (OD)/300 g/t (MIBC) e 500 g/t (O.D)/300 g/t (MIBC) os valores percentuais de recuperações mássicas e matéria carbonosa giram em torno de 40% e 50 % respectivamente.

Nos testes realizados com óleo diesel e MIBC a combinação com concentrações de 200 g/t de óleo diesel e 300 g/t de MIBC foi selecionada como o melhor ensaio. Neste ensaio foram obtidas recuperação mássica e teor de cinzas em torno de 45,64% e 8,07% respectivamente. Apesar dos valores não terem alcançado os objetivos específicos do trabalho, é interessante destacar que para este ensaio a concentração do reagente hidrofobizante é relativamente baixa, quando comparada com o sistema com Betacol e a seletividade é levemente superior.

A análise da figura 4 mostra que com as dosagens de óleo diesel mais MIBC, os valores dos teores de cinzas apresentam uma ligeira variação nas duas etapas *rougher* e *scavenger*, ficando em torno de 8,07% até o último minuto de flotação com

uma recuperação mássica de 45,64% com 56,17% de recuperação da matéria carbonosa.

Figura 3. Ensaios específicos de flotação: Valores acumulados das recuperações mássicas, matéria carbonosa, teores de cinzas e matéria voláteis variando a concentração do reagente óleo diesel.

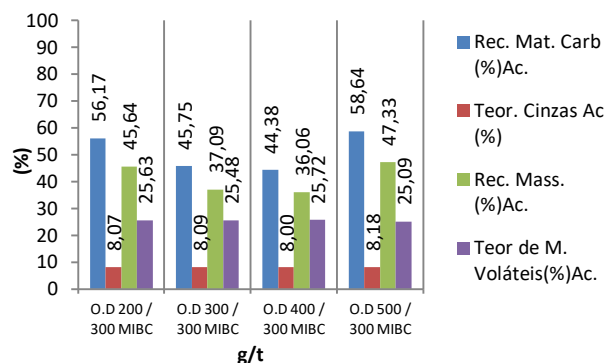
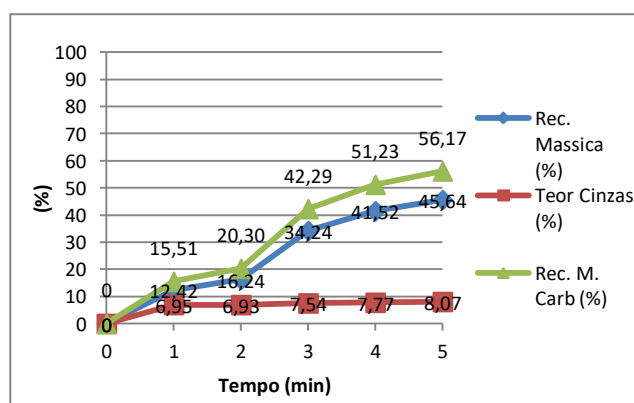


Figura 4. Recuperação mássica, de matéria carbonosa e teor de cinzas em função do tempo, com 200 g/t (óleo diesel) e 300 g/t (MIBC).



4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo, utilizando o carvão da camada UCB da mina de Moatize permitiram avaliar o desempenho dos diferentes reagentes bem como das dosagens utilizadas no que diz respeito à recuperação mássica, recuperação da matéria carbonosa e teor de cinzas.

A partir dos ensaios de flotação, foram obtidos concentrados acumulados no quinto minuto, tempo esse definido como máximo para cada flotação em bancada e para cada combinação dos reagentes anteriormente citados neste trabalho. De acordo com ensaios preliminares foi escolhido o melhor resultado, com base nos parâmetros de recuperação mássica, recuperação da matéria carbonosa e teor de cinzas, atendendo e considerando que as dosagens de reagentes desempenharam um papel

muito importante do ponto de vista de eficiência de processamento.

Este estudo mostra que a fração fina da camada UCB do carvão de Moatize é passível de beneficiamento por flotação devido a inúmeras vantagens que apresenta sendo uma delas, o seu *rank* betuminoso e a presença fundamental do maceral vitrinita, garantindo assim o seu caráter hidrofóbico e possibilitando a recuperação da matéria carbonosa.

Os resultados com betacol e óleo diesel/MIBC mostraram que a partir de um fluxo de alimentação com elevado teor de cinzas, em torno de 22,84%, é possível obter concentrados com teores de cinzas a baixo de 10% e recuperação mássicas em torno de 50%.

Com base nos resultados do trabalho, foi possível definir a melhor combinação de reagentes:

- Betacol: Concentração de 400 g/t – 200 g/t, com uma recuperação mássica de 49,76% e teor de cinzas de 9,98%.
- Óleo Diesel 200 g/t – 300 g/t MIBC, com uma recuperação mássica de 45,64% e teor de cinzas de 8,07%.
- De uma forma geral, o betacol apresentou melhores resultados porque as suas recuperações mássicas e matéria carbonosa foram mais altas quando comparados com óleo diesel/MIBC.

Entretanto o sistema óleo diesel/MIBC apresentou melhor seletividade no que concerne ao baixo teor de cinzas no produto concentrado, ainda que apresentassem menor recuperação mássica em todo estudo.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - CARVÃO MINERAL - DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZA. NBR 8289. RIO DE JANEIRO, 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - Carvão Mineral - Determinação de umidade. NBR 8293. Rio de Janeiro, 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - Carvão Mineral - Determinação do teor de

materiais voláteis. NBR 8290. Rio de Janeiro, 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - Carvão Mineral - Determinação do Carbono fixo. NBR 8299. Rio de Janeiro, 1983.

BALTAR, C. A. M. **Flotação no Tratamento de Minérios.** Recife: Departamento de Engenharia de Minas/UFPE, 2008.

BRUM, I. A. S. **Concentração de partículas minerais grossas de fluorita em coluna de flotação,** Porto Alegre, 2004, 103p. Tese de Doutorado em Engenharia- Escola de Engenharia, PPGEM/UFRGS.

CELANESE CORPORATION- **The Chemistry inside innovation - MethylsobutylCarbinol.** Disponível em: www.celanese.com-Acessado em 26 de Junho de 2016.

CHAVES, A. P. (ORGANIZADOR) **Teoria Prática do Tratamento de Minérios V4,** A flotação no Brasil, 2ed. São Paulo, 2009: Signus, 410, 411, 414p.

COELHO A.V. P. **Complexo Gabro Anortozítico de Tete - Moçambique.** Tipografia globo, Lda, Lisboa, 1969.

Da LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A., FRANÇA S. C. A. **Tratamento de minérios:** 5ª ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, 2010, 484p.

DAVILA, G. B. G. **Estudo de flotação convencional em bancada do lodo da carbonífera criciúma,** Porto Alegre, 2013, 17p. Dissertação de Mestrado em Engenharia- Escola de Engenharia, PPGEM/UFRGS.

FERREIRA J. A. F. **Classificação de carvões.** IN: SEMANA DE GEOLOGIA, 6, Rio de Janeiro, CPRM, 1980. 16 p. Il. [Inédito]

JOSÉ, D. S., **Estado da Arte da Mineração em Moçambique:** caso carvão de Moatize, Tete, 2011.

JOSÉ, D. S. **Caracterização Tecnológica do Carvão de Moatize - Trabalho de Doutorado em andamento,** 2016

MAE. Perfil do Distrito de Moatize. Província de Tete. República de Moçambique, Ministério da Administração Estatal. Série Perfis Distritais. Maputo, Moçambique, 2005, 79 pp.

MEDIAFAX. **Recursos minerais em Moçambique. “Temos ainda por explorar”.** Quinta feira, 22 de Julho de 2010, Maputo, Moçambique.

NAGARAJ, D.R. **Reagent selection and optimization – the case for a holistic approach.** Minerals Engineering, 18, 151-158, Elsevier, 2005.

P. GEORGE, A. V. NGUYEN, G. J. JAMESON. **Assessment of true flotation and entrainment in the flotation of submicron particles by fine bubbles.** Special Research Centre for Multiphase Processes, University of Newcastle, University Drive. 2004.

REAL S. A. **Geologia de Moçambique. Notícia Explicativa da Carta geológica de Moçambique.** Esc: 1:2000 000, 2ª. Edição, 1978.

RUIZ A. S. **Flotação do carvão contido no rejeito da barragem EL CANTOR,** São Paulo, 2009, 33, 34, 35 e 49p. Dissertação de Mestrado em Engenharia- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP.

SAMPAIO, C. H., TAVARES, M. L. M. **Beneficiamento Gravimétrico: Uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade.** 1ªed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005, 53p.

VALE-MOÇAMBIQUE - **Coal handling and preparation plant - Process management training presentation,** 2016.

VASCONCELOS L. 1995. **Contribuição para o conhecimento dos carvões na Bacia Carbonífera de Moatize, Província de Tete,** República de Moçambique. Tese de Doutorado, Universidade do Porto, Portugal, 2 volumes.

WARREN, L. J. **Determination of the contributions of true flotation and entrainment in batch flotation tests.** International Journal of Mineral Processing, v.14, n.1, p.33-44, 1985.



V CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL

CRICIÚMA - SC – BRASIL

29 DE MAIO A 01 DE JUNHO DE 2017