

CARACTERÍSTICAS DE FRAGMENTAÇÃO DO MINÉRIO DA MINA IGARAPÉ BAHIA

Lira, B. B. e Costa, M. M. P¹, Ramos, L. T. S. e Júnior, D. S²

1 - Departamento de Engenharia de Minas – Universidade Federal de Pernambuco. Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária. CEP 50.440-530. Recife-PE
E-mail: deminas@npd.ufpe.br

2 – Companhia Vale do Rio Doce – CVRD Mina Igarapé Bahia – Carajás – PA

RESUMO

Ensaio de cominuição com partículas unitárias e múltiplas foram realizados com o objetivo de estabelecer correlações que permitam incorporar, aos modelos matemáticos de cominuição, as características de fragmentação dos minérios da mina Igarapé Bahia da Companhia Vale do Rio Doce, localizada no Estado do Pará. Um duplo pêndulo e o moinho de Bond foram utilizados nestes ensaios de laboratório. O pêndulo montado no Laboratório de Tecnologia Mineral da UFPE apresenta dimensões similares ao desenvolvido no Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre - JKMRC Austrália, para determinação da função de fragmentação para os moinhos primários de bolas.

Cinquenta um tipos de minérios foram amostrados na Mina para os ensaios de cominuição. Em laboratório os minérios amostrados foram classificados e geraram 222 amostras para ensaios no pêndulo e 3 para ensaios no moinho de Bond. No pêndulo as partículas foram submetidas a um programa sistemático de fragmentação a três níveis de energia e dois tamanhos de partículas. A partir destes ensaios correlações entre energia específica de cominuição para cada minério foi estabelecida. Ainda uma família de curvas de fragmentação do minério de ouro da Mina Igarapé Bahia foi definida.

Palavras chave – cominuição, pêndulo, moinho de bolas, minério de ouro

1. INTRODUÇÃO

Ensaio de fragmentação foram conduzidos em laboratório com os minérios cedidos pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) - Mina Igarapé-Bahia, Pará. Nestes ensaios, foi utilizado um duplo pêndulo, dispositivo desenvolvido por Narayanan e Whiten (1995). Uma réplica deste aparato foi instalada no Laboratório de Tecnologia Mineral (LTM/UFPE).

No desenvolvimento do trabalho utilizamos 51 (Cinquenta e uma) amostras com aproximadamente 5kg cada, dos quais 14 (quatorze) não foram selecionadas para os ensaios de fragmentação no pêndulo, devido suas características de friabilidade. Os minérios foram obtidos em diferentes pontos das frentes de lavra da mina de ouro Igarapé-Bahia, que em laboratório geraram outras 222 (duzentos e vinte e duas) amostras com 10 e 60 partículas de -12,7+6,35 e -6,35+4,76 mm respectivamente.

Através dos ensaios de cominuição, uma relação entre a energia específica e fragmentação foi estabelecida para cada minério. Também uma família de curvas, que incorpora todos os minérios, uma vez que, estes fragmentam-se de maneira similar, foi estabelecida. Estas correlações são fundamentais para determinar as características de cominuição dos minérios no modelamento matemático dos equipamentos de cominuição.

2. GEOLOGIA

A Região de Carajás situa-se próximo da borda SE do cráton Amazônico, entidade tectônica onde predominam rochas metamórficas de alto grau e intrusivas. O embasamento da Região das província mineral de Carajás está representado pelo Complexo Xingu e é composto principalmente de Gnaisses Graníticos, Granodioritos e Anfibólitos.

O grupo Igarapé Bahia trata-se de uma seqüência vulcano sedimentar de baixo grau metamórfico e a mina Igarapé Bahia está situada num platô de cerca de 30km de área. A mineralização está hospedada em sedimentos arenosos/pelíticos, rochas vulcanoclásticas e pequenas lentes de formação ferífera. Estas mineralizações estão relacionadas com a zona de cisalhamento de natureza dúctil-rúptil, associada a cobre e ouro, com profunda alteração hidrotermal dentro e fora da zona

mineralizada (4).

Devido ao intenso intemperismo prevalente na Amazônia formou-se um perfil bem desenvolvido, onde os corpos de minérios sulfetados foram inteiramente alterados para zona gossaníferas, resultando assim, na mobilização supergênica do ouro. A jazida é constituída, principalmente por quatro tipos de minérios:

- a) laterita mineralizada, argila, nódulo e fragmentos;
- b) brecha ferruginosa compacta e, eventualmente, fragmentada;
- c) brecha ferruginosa e magnésifera compacta e, eventualmente fragmentadas;
- d) material magnésífero pulverulento.

Em decorrência do enriquecimento supergênico do ouro e a Lixiviação dos minerais de cobre, que foram transportados por soluções descendentes e precipitados na forma de minerais oxidados em uma zona pouco acima do lençol freático (zona de transição), a mineralização ficou dividida em três zonas: oxidada, transição e sulfetada (4).

3. PÊNDULO TESTE

O desenvolvimento de modelos matemáticos é essencial para otimização do processo de cominuição. Isto requer uma simples, porém precisa, técnica de laboratório para determinar as características da cominuição dos minérios. Para alcançar este objetivo, uma réplica do aparato experimental do duplo-pêndulo, desenvolvido por Narayanan e Whiten (1995), foi montado no Laboratório de Tecnologia Mineral - LTM da UFPE, para conduzir testes de fragmentação de partícula unitária, no qual a energia utilizada no processo de cominuição de uma partícula mineral pode ser determinada.

3.1 - Descrição do Duplo Pêndulo

O duplo pêndulo é utilizado na fragmentação das partículas unitárias e permite determinar a energia utilizada no processo de fragmentação. É composto por dois pêndulos, o "input" pêndulo e o "rebound" pêndulo, suspensos por cordões de algodão. A Figura 1 apresenta um arranjo esquemático pendulo teste. O "input" pêndulo é liberado de uma altura conhecida para ir de encontro à partícula que é fixada ao "rebound" pêndulo para fragmentá-la. O "rebound" pêndulo, após a fragmentação da partícula, balança entre a fonte e um detetor laser.

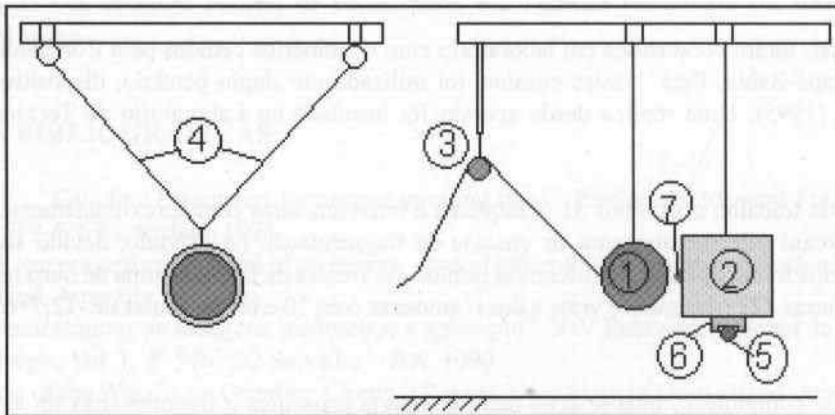


Figura 1 - Representação esquemática do duplo pêndulo

1. "Input" Pêndulo - 2. "Rebound" Pêndulo - 3. Roldana
4. Cordões de Algodão - 5. Laser - 6. Frame - 7. Partícula do teste

Tabela I resume os níveis de energia utilizados na fragmentação das trinta e sete amostras para ensaios de fragmentação no duplo pêndulo. Os três níveis de energia indicado nesta tabela são as energias potenciais do "input" pêndulo. Verifica-se nesta tabela que o pêndulo foi calibrado periodicamente seis vezes nos três níveis de energia e sofreram alterações entre os períodos de calibragem. Estas variações de alturas relativas e conseqüentemente a energia disponível para fragmentação, são devido a elasticidade dos cordões de sustentação do pêndulo sujeito a dilatação com a continuidade dos testes e as condições de umidade e temperatura do ambiente.

O pêndulo utilizado neste trabalho segue as mesmas características do descrito em trabalhos anteriores (LIRA, 1990/98; NARAYANAN, 1986/87), observando as seguintes modificações geométricas e materiais:

“Input” Pêndulo (A) - constituído por uma bola oriunda do moinho de bolas da usina da mina de Igarapé-Bahia, pesando 2.919,0 g e um diâmetro médio de 87,0 mm. “Rebound” Pêndulo (B) - composto de um cilíndrica de 100mm de diâmetro e 85,4mm de comprimento, pesando 5.374,9 g. O “rebound” pêndulo é mantido no interior de um caixa para coletar o material resultante da fragmentação

Tabela I - Sumario dos três níveis de energias utilizados na fragmentação das amostras da Mina Igarapé Bahia.

Nível 01		Nível 02		Nível 03	
Altura relativa (cm)	Energia disponível (Joules)	Altura relativa (cm)	Energia disponível (Joules)	Altura relativa (cm)	Energia disponível (Joules)
1.355	0.3880	3.240	0.9278	5.905	1.6909
0.790	0.2262	2.345	0.6715	4.550	1.3029
0.800	0.2291	2.295	0.6572	5.945	1.7023
2.295	0.6572	4.440	1.2714	5.780	1.6551
2.590	0.7417	4.780	1.3688	6.235	1.7854
2.525	0.7230	4.765	1.3645	6.105	1.7482

3.2 - Descrição do Produto da Distribuição Granulométrica

Tem sido observado que o produto da distribuição granulométrica resultante da fragmentação de partículas unitária mineral, pode ser descrito por um único parâmetro. Este parâmetro “t” é definido como o percentual acumulado passante em Y/10, onde Y é o tamanho máximo da partícula no teste. O parâmetro “t” é também relacionado com outros parâmetros, t_n que é a percentagem acumulado passante em Y/n, onde n = 2, 4, 25, 50, e 75 respectivamente. O parâmetro “tn” foi obtido através de interpolação na curva de Rosin-Rammler da análise granulométrica. O parametro t10 é identificado como simplesmente parametro “t” e é correlacionado com os demais parametros “tn” e denomina-se família de curvas. Estas famílias foram determinadas para todos minérios da Mina Igarapé e combinados em uma única família de curva A figura II apresenta esta família de curva e é característica do depósito mineral da mina Igarapé Bahia.

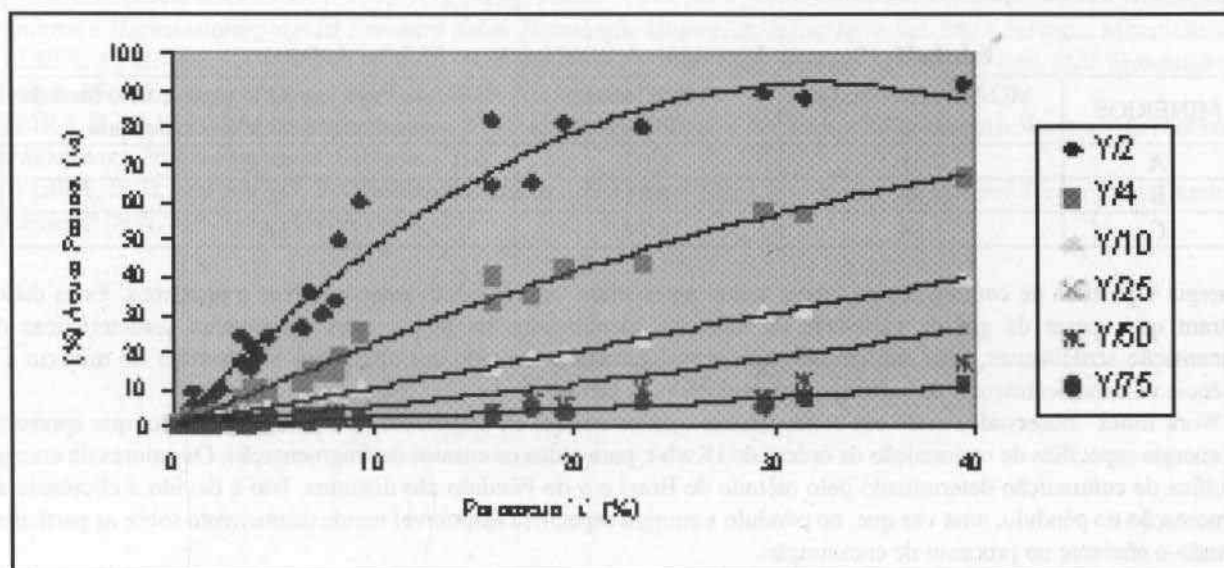


Figura II – Família de curvas de fragmentação para o minério da Mina Igarapé Bahia

3.3. Relação entre Energia Específica de Cominuição e Parâmetro “t”

A partir dos testes no duplo - pêndulo, a energia específica de cominuição “Ecs” e o parâmetro “t” são estabelecidas. As distribuições relativas são independentes do tamanho inicial da partícula, e são consideradas como uma única família de curvas com um parâmetro especificado. Para normalizar o efeito do tamanho da partícula, a energia de cominuição é dividida pela massa da partícula e utilizada para relacionar com o parametro “t”. A equação abaixo proposta por Lira (1990), para correlacionar energia específica de cominuição “Ecs” e parametro “t”, foi utilizada neste trabalho

$$t = a (1 - \text{Exp}(-b * \text{Ecs})) \quad (1)$$

onde, “a” e “b” são parâmetros.

A energia específica de cominuição é definida como a diferença entre a energia do “input” pêndulo antes do impacto e a energia do “rebound” pêndulo após o choque. Portanto, essa energia inclui outras formas de energia para a redução do tamanho, tais como, energias acústicas, cinéticas e caloríferas produzidas durante o processo de cominuição. Esta energia de cominuição específica Ecs (KWh/t) pode ser determinada usando a equação.

$$Ecs = \frac{M_i}{M_r + M_i} \times (1 - e^2) E_{is} \quad (2)$$

onde: Ecs : energia específica de cominuição

M_i : massa do “input” pêndulo

M_r : massa do “rebound” pêndulo

e : coeficiente de restituição

E_{is} : energia específica disponível (KWh/t)

Durante os testes observou-se que a colisão tende a seguir o “rebound” pêndulo, indicando que ocorre uma colisão inelástica, onde a velocidade final do “input” pêndulo é igual à velocidade inicial do “rebound” pêndulo, sendo assim, o coeficiente de restituição se aproxima de zero. Desta forma a energia de cominuição é função das massas dos pêndulos. As correlações entre energia específica de cominuição e parâmetro “t” para os minérios analisados foram estabelecidas e figuras 3 mostra esta correlação para um dos minérios. Observa-se um ajuste deste dados com equação 6, que apresentam um coeficiente de correlação (r) de Z. Resultados semelhante foram obtidos para todos os demais 37 (trinta e sete) minérios.

3.4 Cominuição das Partículas Múltiplas

Para determinação do Work Index dos minérios da Mina Igarapé Bahia selecionamos três tipos de amostras representadas por A, B e C, com características de fragmentação distintas identificadas a partir dos ensaios de cominuição no duplo pêndulo. Os resultados destes ensaios de cominuição, são sumarizados na tabela II, que apresenta a moabilidade e o “Work Index” dos três minérios selecionados.

Tabela II – Sumario dos ensaios de cominuição no Moinho de Bond.

MINÉRIOS	MOABILIDADE (g/rotação)	Work Index KWh/t	% Acum Pass. em 325# para o ciclo final de cominuição no Moinho deBond
A	2,11	6,07	44,22
B	1,86	6,73	50,22
C	1,84	6,79	58,17

A energia específica de cominuição na tabela acima apresentam valores relativamente baixos e próximos. Estes dados mostram que apesar da grande variedade de minérios identificados na Mina, estes apresentam características de fragmentação semelhantes. Esta similaridade são provavelmente resultado das alterações hidrotermal do minério e a seqüência vulcano sedimentar de baixo grau metamórfico da jazida.

Os “Work Index” observados estão em concordância com os ensaios de fragmentação no duplo pêndulo, que apresenta uma energia específica de cominuição da ordem de 1Kwh/t, para todos os ensaios de fragmentação. Os valores de energia específica de cominuição determinado pelo método de Bond e o do Pêndulo são distintos. Isto é devido a eficiência de fragmentação no pêndulo, uma vez que, no pêndulo a energia específica disponível incide diretamente sobre as partículas tornando-o eficiente no processo de cominuição.

4. CONCLUSÕES

- 1) Os parâmetros de fragmentação a três níveis de energia foram determinados para 37 trinta e sete minérios da Mina Igarapé Bahia. O que ressalta que a jazida apresenta minérios com características de fragmentação diversificada.
- 2) Uma família de curvas foi estabelecida para os minérios da Mina e as correlações entre energia específica e fragmentação foi definida para cada minério da Mina Igarapé Bahia. Estas correlações permitem determinar a “appearance function” e como consequência o modelamento matemático com informações das características de fragmentação do minério a um determinado nível de energia.
- 3) Os resultados de fragmentação no pêndulo mostra que devemos ajustar as condições operacionais do moinho de acordo com o tipo de minério.
- 4) O pêndulo teste apresenta uma técnica, para determinação da energia específica de cominuição, mais eficiente, uma vez

que, a energia específica disponível, atua diretamente nas partículas minimizando as perdas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia Vale do Rio Doce e em especial a todos que fazem o corpo técnico da Mina Igarapé Bahia setor de Processamento Mineral, pelo apoio ao projeto com a coleta das amostras e na montagem do duplo pêndulo no Laboratório de Tecnologia Mineral LTM da UFPE, tornando possível este trabalho. Ainda gostaríamos de deixar nossos agradecimentos ao corpo docente e discente do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE como também a equipe técnica do LTM que contribuíram neste trabalho.

6. BIBLIOGRAFIA

- 1) NARAYANAN, S.S., LIRA B.B. and RONG, R.X., 1987. A single particle breakage technique for the determination of comminution characterisation of coal. Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre. Queensland, Australia. *Coal Preparation*, 5, 211-227.
- 2) NARAYANAN, S.S., 1986. Development of a laboratory single particle breakage technique and its application to ball mill modelling and scale-up. Ph.D. Thesis. University of Queensland.
- 3) BARRETO, A., 1998. Mineração Igarapé-Bahia, Relatório de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. 05-10.
- 4) LIRA, B. B., COSTA, M. M. P. e NARCISO, C. P. da S., 1999. Relatório a Companhia Vale do Rio Doce - CVRD: Ensaios de Cominuição em Laboratório com os Minérios da Mina Igarapé Bahia. *Departamento de Engenharia de Minas da UFPE*. Recife. 129p.
- 5) LIRA, B.B., 1989. The Development and Application of an Energy - Based Ball Mill Simulation and Design Technique, Julius Kruttschnitt Mineral Centre, Department of Mining and Metallurgical Engineering, University of Queensland, Australia. Ph.D. Thesis. 3, 36-62.
- 6) LIRA, B. B., 1993. Grinding Parameters for Copper Slags. *Processing in Mineral Technology*, Demirel & Ersayin. 519-526p. Balkeman, Rotterdam.
- 7) LIRA, B. B. and KAVETSKY, 1992. A Breakage Power in a Grinding Process. *XV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia e III Encontro sobre Tecnologia Mineral do Hemisfério Sul*. São Lourenço, Minas Gerais.
- 8) LIRA, B. B. and KAVETSKY, A. 1991. Application of a New Model-Based Method of Ball Mill Simulation and Design. *Minerals Engineering*, 3 No 1;2. 149-163p. London.
- 9) LIRA, B. B., 1990. Modelos Matemático de Moagem: Parâmetros e Aplicação. *XIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia*. Salvador - BA.
- 10) LIRA, B. B. and SAITO, F. Grinding Parameters for Copper Slags. *Processing in Mineral Technology*, Demirel & Ersayin. (1994). 519-526p. Rotterdam.