

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM
MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
CONVÊNIO DNPM/CPRM

Moagem autógena de itabirito em escala piloto

CT

15

Contribuição Técnica ao VII encontro
nacional de tratamento de minérios e
hidrometalurgia - Recife-PE - 26/28 nov. 80

MOAGEM AUTÓGENA DE ITABIRITO EM ESCALA PILOTO

Hedda Vargas Figueira*

João Alves Sampaio*

SUMARIO

Este trabalho visou o estudo da moagem autógena, em moinho piloto, do Itabirito do Cauê (C.V.R.D.).

Estabeleceu-se um fluxograma para a instalação de moagem de forma que, se tivesse perfeito controle da distribuição granulométrica da alimentação.

Os testes de moagem foram realizados a úmido em um moinho de 6 por 2 pés.

Obteve-se produto com cerca de 80% em peso de material menor que 100 malhas (0,147 mm) e com um gasto de energia de 7 kwh/tonelada.

Alguns parâmetros influentes foram estudados com a finalidade de se estabelecer as melhores condições de operação, restando ainda algumas variáveis a serem determinadas a fim de que a moagem seja otimizada.

* Engenheiros do CETEM

1- INTRODUÇÃO:

1.1- Apresentação do Trabalho

Desde os tempos pré-históricos o homem utilizou pedaços de rocha para quebrar outras rochas. A idéia de fragmentação autógena não tem portanto nenhuma novidade, entretanto o uso de um cilindro giratório aonde os próprios minerais se fragmentam é idéia mais recente e a literatura faz referência a trabalhos de 1908 realizados (1) por Hardinge aonde pedaços de 8 polegadas de magnetita foram usados para fragmentar uma alimentação de uma polegada até 80 malhas. Referências a trabalhos realizados em 1916 usando pedaços de barita para fragmentar o próprio minério em cilindros de 8 polegadas de diâmetro e 30 de comprimento são feitas por Hall (2) e bons resultados foram obtidos com 95% do material fragmentado abaixo de 325 malhas.

Na África do Sul (3) desde a primeira década deste século que vem sendo adotado moagem usando como meio moedor "Sillex" que era importado da Dinamarca mas assim mesmo ficava muito mais econômico que bolas de aço. Os operadores dos moinhos logo perceberam a possibilidade de usar seixos do minério local como meio moedor simplificando e barateando a operação da moagem.

Nos últimos 20 anos grande atenção tem sido dada aos gastos na fragmentação que constituem uma parcela relevante dos gastos no beneficiamento do minério. Mu

tos estudos surgiram e a moagem autógena é um dos métodos que foram encarados como capazes de trazer algumas vantagens operacionais e econômicas que discutiremos mais adiante. Já instalada e funcionando em muitas usinas, a moagem é bastante bem aceita na Europa embora ainda tenha correntes contrárias. No Brasil, ao que nos consta não é ainda utilizada.

1.2- Desenvolvimento da Moagem Autógena

Método

O dicionário define autógeno como o que faz por si próprio (autos=próprio, genos=produção). A fragmentação que se estuda neste trabalho é assim chamada, por tratar-se da fragmentação de um material ou de um minério, por pedaços deste mesmo material. Está portanto completamente fora desta classificação a moagem feita em moinho de bolas em que as convencionais bolas de aço são substituídas por seixos de sílex ou bolas de porcelana. Este é o conceito geralmente aceito na literatura e que nos parece o mais adequado (4).

O método de moagem autógena tem entre tanto variações que podem ser classificadas dentro das categorias seguintes:

- a) Autógena completa ou de uma etapa
- b) Autógena parcial
- c) Autógena modificada

a) Na fragmentação autógena completa ou de uma etapa, o minério, que vem da mina sem nenhuma ou com pouca britagem, é alimentado todo no moinho autógeno; no classificador que trabalha acoplado ao moinho, o material é retirado na granulometria desejada. A pouca britagem referida acima, segundo Christie Y.D. (5) é devida às novas técnicas de explosão usados na mineração que já fornecem minério abaixo de 10 polegadas, próprio para ser alimentado no moinho autógeno, evitando assim o uso da britagem grosseira prévia.

É preciso não esquecer que o moinho totalmente autógeno deve funcionar tanto como britador como moinho i.e. deve primeiramente britar o minério a tamanhos mais finos e então continuar o processo de redução de tamanho por moagem. Desde que isto é verdadeiro deve haver um balanço entre a velocidade de britagem e a moagem para que não aconteça de que todo o material seja reduzido de tamanho e não haja mais condições para moer-lo até a finura desejada. Quando tratarmos dos modelos de moinho e dos mecanismos de fragmentação veremos como este balanço pode ser obtido.

b) Autógena parcial. Neste tipo de moagem só o moinho de bola é substituído por um moinho autógeno e este tipo de moagem é denominado muitas vezes na literatura de "pebble milling". Como o custo da moagem é geralmente o mais elevado numa fragmentação e como as instalações antigas são facilmente adaptáveis a este tipo de moagem ela está sendo bastante usada presentemente. O minério é primeiramente britado a um tamanho próprio para alimentar um moinho de barras. Durante ou antes da britagem uma peneiração sepa

ra parte do minério com tamanho adequado para servir de meio moedor. O minério moído no moinho de barras é alimentado, juntamente com os pedaços maiores do minério previamente separados, no moinho autógeno onde se dá a moagem final. Os pedaços maiores ou seixos, separados para uso na moagem autógena parcial devem estar entre 25 e 75mm e são escolhidos de forma a terem o mesmo peso que as bolas que elas devem substituir. Como a densidade do minério é mais baixa que as bolas estes moinhos necessitam ter maiores volumes e/ou maiores velocidades do que os de bolas correspondentes.

c) Autógena Modificada. Neste tipo podemos incluir as moagens autógenas em que são empregados métodos auxiliares tais como o uso de algumas bolas de aço para facilitar a fragmentação de uma fração mais dura e com tendência a manter-se muito tempo no moinho ou retornar várias vezes do classificador como carga circulante. Esta fração denominada por vários autores como "fração de tamanho crítico" reduz a capacidade do moinho e aumenta o gasto de potência, por tonelada de produto. A fração de tamanho crítico parece em certos minérios que, quando fragmentados, produzem uma distribuição granulométrica aonde há uma percentagem elevada de material com tamanho insuficiente para servir de meio moedor e grande demais para ser fragmentada pelos seixos moedores. O uso de algumas bolas de aço junto com os seixos moedores contorna bem o problema mas traz algumas desvantagens tais como: um aumento de desgaste no revestimento do moinho, o gasto com bolas e diminuição da flexibilidade do circuito de moagem devido a impossibilidade de retirar as bolas de outro método que não seja moe-las.

Como uma alternativa ao uso de grandes bolas de aço para controlar a quantidade da fração de tamanho crítico, alguns pesquisadores (6) (7) sugeriram a introdução de um britador de mandíbula pequeno, que pode ser incluído ou cortado do fluxograma da instalação, segundo as exigências da carga do moinho. A fração de tamanho crítico é removida continuamente do moinho através de uma saída de tamanho e retornada ao moinho junto com a carga circulante que vem do classificador. Com este dispositivo, certos minérios duros e resistentes, que dificilmente se adaptariam a moagem autógena, podem com grandes vantagens econômicas ser fragmentados por este método.

1.3- Finalidade do Trabalho

Desde 1973 começamos nos interessar pela moagem autógena e no I Encontro de Tratamento de Minérios apresentamos breve notícia sobre o assunto. No II Encontro de Tratamento de Minérios apresentamos alguns dados comparativos entre a moagem realizada num moinho de bola convencional e num moinho autógeno de laboratório. Em 1974 apresentamos uma tese de concurso à livre docência (8) aonde estudamos a moagem do Itabirito de Guanhães e da Barita de Miguel Calmon.

O CETEM possui um moinho autógeno piloto de fabricação KOPPERS de 6 pés de diâmetro e 2 pés de comprimento e pudemos então, realizar em escala piloto, os testes de moagem determinando alguns parâmetros necessários.

Este estudo faz parte do projeto solicitado pelo DNPM que visa testar a possibilidade de utilizar a Moagem Autógena para alguns minérios brasileiros tendo como prioridade o Itabirito.

2. ESTUDO DO ITABIRITO DO CAUÊ

A amostra enviada pela C.V.R.D. constava de Itabirito duro de Cauê obtida através de amostragem de material retirado de quatro frentes bem expostas sendo três de Itabirito duro e uma de mistura. O material veio todo britado em tamanho menor que 10 polegadas.

2.1. Estudo Prévio em Laboratório

2.1.1. Grau de Liberação

As frações granulométricas obtidas na análise do material fragmentado autogenamente, em testes preliminares de laboratório, foram enviadas para a seção de análise mineralógica que nos forneceu os seguintes resultados:

MALHAS	LIBERAÇÃO	COMPOSIÇÃO
+ 48	80%	Quartzo, Hematita, Biotita
+ 65	85%	Idem
+ 100	95%	Idem + Muscovita
+ 150	100%	Idem + Biotita

Para efeito de trabalho consideramos que a liberação 85% já era satisfatória já que as inclusões de opacos no quartzo eram diminutas.

Procurou-se obter na moagem o máximo de material menor que 48 malhas, com o menor gasto de energia⁽⁹⁾.

2.1.2. Determinação do Work Index

Tomou-se 35 Kg de amostra representativa e reduziu-se toda a menos 10 malhas. Após a redução de tamanho, o material foi homogeneizado e com amostras daí obtidas determinou-se o Work Index de acordo com a técnica de Bond.

O W_i obtido por média de duas determinações foi $W_i = 5,9$.

Mac Pherson⁽¹⁰⁾ sugeriu o uso de um Work Index Autógeno que seria a energia necessária para moer 1 tonelada curta até 80% menor que 100 microns, mas utilizando um moinho Aerofall autógeno de 45 cm de diâmetro. Ele verificou que a relação entre o Work Index Autógeno e o Work Index de Bond é extremamente variável e isto levou-o a concluir que o mecanismo de fragmentação no moinho autógeno era bem diferente do mecanismo no moinho de bolas, afirmação já feita por Digre em 1969.⁽¹¹⁾

2.1.3. Análise Química

A amostra representativa enviada para análise química acusou um resultado de 42,5% Fe, teor bastante elevado pois a literatura costuma referir para o Itabirí

to teores entre 35 e 45% de Ferro.

2.1.4. Desgaste de Seixos

Com uma carga de Itabirito que obedecia a distribuição granulométrica de descarga de um britador primário industrial, testou-se o desgaste do material. Usou-se o tambor de diâmetro = 40 cm por nós confeccionado numa velocidade de 90% da velocidade crítica. O material em pedaços entre 1/2 e 4 polegadas, com água, foi rolado durante um tempo determinado. Após este tempo retirou-se o material menor que 4 malhas que havia se formado. Colocou-se água e rolou-se o tambor novamente por outro espaço de tempo.

Os resultados obtidos demonstraram que o Itabirito do Cauê é muito mais desgastável do que o de Ganhães por nós já estudado.

Tempo Minutos	CAUÊ	GANHÃES
	% Desgaste	% Desgaste
5	33,10	-
15	20,26	14,59
30	17,92	12,13
45	16,06	11,47

3. ESTUDO EM INSTALAÇÃO PILOTO

Os ensaios foram realizados num moinho Casca de de fabricação Koppers com 6 pés de diâmetro por 2 pés de comprimento. O moinho possui um motor de 25 Hp - 1200 rpm e quatro polias que permitem rodar o moinho nas seguintes velocidades:

97%
85%
75%
65%

da V_c

A velocidade crítica deste moinho corresponde a 31,1 rpm.

Na saída do moinho instalou-se um trommel de tela de 10 malhas (1,651 mm) afim de retornar este material mais grosseiro diretamente à correia transportadora da alimentação e assim proteger a tela da peneira usada para separar o produto (65 e 40 malhas nas duas séries de ensaios).

A peneira utilizada é peneira FAÇO vibratória com deck único e com um forte chuveiro d'água afim de garantir a boa peneiração.

Podemos observar nas Figuras nºs 1 e 2 o fluxograma utilizado na instalação piloto para os testes realizados.

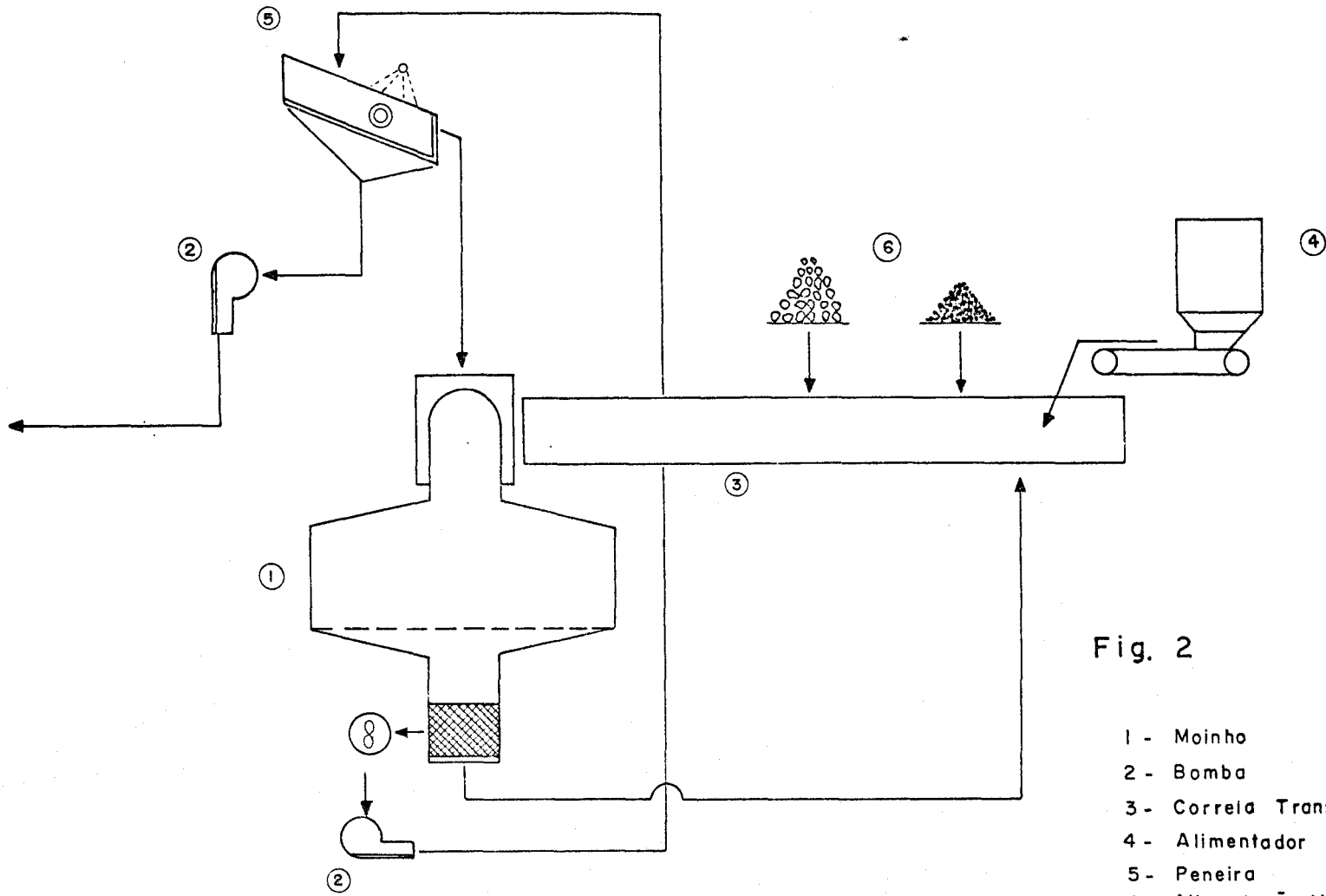
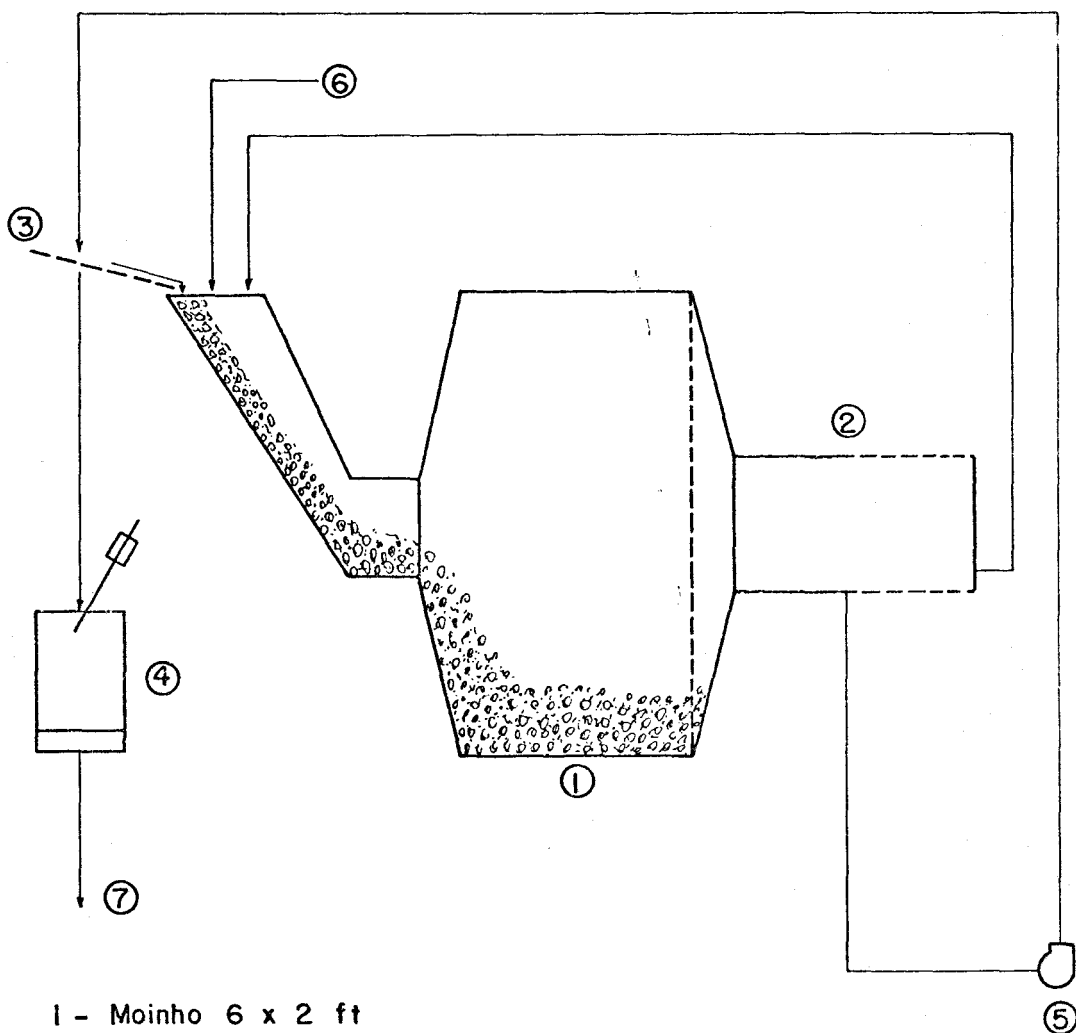


Fig. 2

- 1 - Moinho
- 2 - Bomba
- 3 - Correia Transportadora
- 4 - Alimentador
- 5 - Peneira
- 6 - Alimentação Manual



- 1 - Moinho 6 x 2 ft
- 2 - Trommel
- 3 - Peneira
- 4 - Tomada de amostra
- 5 - Bomba
- 6 - Alimentação
- 7 - Produto

Fig. 1 - MOAGEM AUTÓGENA A ÚMIDO

O material recebido da C.V.R.D. cerca de 21 toneladas foi separado por tamanho pois a alimentação do moinho devia ter a mesma distribuição granulométrica da amostra recebida a fim de garantirmos que o resultado obtido seria reproduzível.

A distribuição obtida está na Tabela 1.

Tabela 1

TAMANHO / POLEGADAS	PESO (TON.)	PESO (%)
- 10 + 5	5,953	28,5
- 5 + 3	5,273	25,2
- 3 + 2	2,000	4,8
- 2 + 1	1,044	5,0
- 1 + 1/2	1,082	5,2
- 1/2	6,536	31,3
T O T A L	20,888	100,0

O material menor que 1/2 polegada foi separado granulometricamente e o resultado está na Tabela 2.

Tabela 2

MALHAS	PESO (Kg)	PESO (%)	PESO ACUMULADO (%)
+ 4	318,8	14,91	14,91
+ 6	78,5	3,07	17,98
+ 10	191,0	7,46	25,44
+ 14	63,8	2,49	27,93
+ 28	146,4	5,72	33,65
+ 35	92,7	3,62	37,27
+ 48	81,7	3,20	40,47
+ 65	113,1	4,42	44,89
+ 100	192,8	7,53	52,42
+ 150	255,7	9,99	62,41
+ 200	263,0	10,27	72,68
+ 270	196,5	7,68	80,36
- 270	502,9	19,64	100,00

3.1. Primeira Série de Ensaios

3.1.1. Parâmetros Usados

Escolheu-se para os primeiros ensaios os parâmetros que deram os melhores resultados nos testes de laboratório ou os mais recomendados na literatura. (8)(12)(13)(14)

Assim o teste foi conduzido:

- a) Velocidade do moinho: 85% V_c
- b) Proporção dos sólidos na polpa: 50%
- c) Velocidade de alimentação: 600 Kg/hr
- d) Distribuição de tamanho da alimentação: co
mo veio da mina.

A constancia da alimentação é o fator mais importante para a reprodutibilidade dos resultados obtidos e o mais difícil de se controlar.

Para uma alimentação de 600 Kg/hr, obedecendo a distribuição granulométrica desejada, estabeleceu-se o plano de alimentação da forma seguinte: o material menor que 1/2 polegada era alimentado do silo na correia transportadora à razão de 3,1 kg por minuto.

As outras frações granulométricas eram coloçadas na correia obedecendo o seguinte esquema:

TEMPO MINUTOS	PESO (Kg)	TAMANHO EM POLEGADAS
0	43 kg	- 10 + 5
1		
2		
3	4 kg	- 1 + 1/2
4		
5	19 kg	- 5 + 3
6		
7		
8	7 kg	- 2 + 1
9		
10	19 kg	- 5 + 3
11		
12		
13	7 kg	- 3 + 2
14		
15	43 kg	- 10 + 5

A água foi alimentada a razão de 1 galão por minuto.

3.1.3. Resultados Obtidos

Fizemos 3 (três) ensaios nestas condições operacionais mas tivemos alguns problemas com a instalação de modo que nenhum deles se prolongou por mais de três horas

contínuas. Entretanto os dados obtidos foram bastante expressivos e já nos permitiram concluir que para este material a alimentação de 600 Kg era bastante baixa.

Nesta série de ensaios a carga circulante calculada a partir dos pesos retirados durante 10 segundos foi:

$$C_c = 82,3\% \quad e \quad C_c = 85,0\%$$

Os gastos de energia foram de 8 Kwh por tonelada de produto.

Amostras do produto retiradas do moinho a cada 15 minutos (10 segundos de amostragem) foram estudadas quanto a sua distribuição granulométrica.

Todos os produtos obtidos tinham 85% do material abaixo de 0,295 mm (48 malhas).

Daremos a análise de um produto obtido na última operação desta série de ensaios e que é o mais representativo por ser o que transcorreu mais normalmente.

Tabela 3

MALHAS	PESO (%)	PESO ACUMULADO (%)
+ 35	6,03	6,03
+ 48	2,38	8,41
+ 65	4,18	12,59
+ 100	9,25	21,84
+ 150	11,54	33,38
+ 200	20,22	53,60
+ 270	13,84	67,44
- 270	32,56	100,00

Pode-se notar que a pouca eficiência da peneira, pois trabalhando com tela de 65 malhas tivemos 12,59% de material acima desta malha. Na outra série de ensaios este defeito já tinha sido sanado.

O produto moído apresentou, nesta amostra, 87,41% de material abaixo de 48 malhas tamanho em que 85% da hematita está liberada.

3.2. Segunda Série de Ensaios

3.2.1. Parâmetros Usados

Com as informações obtidas na primeira série de ensaios planejou-se a 2ª série com os seguintes parâmetros

tros.

- a) Velocidade do moinho: 85% Vc
- b) Proporção dos sólidos na polpa: 35%
- c) Velocidade de alimentação: 1000 Kg/hr
- d) Distribuição de tamanho da alimentação: como veio da mina.

A alimentação processou-se com a seguinte sistemática: o material a - 1/2 polegada era alimentado do silo na correia transportadora que alimenta o moinho numa razão de 5,22 Kg por minuto. As outras frações granulométricas eram colocadas na correia obedecendo o seguinte esquema que se repete cada 15 minutos.

TAMANHO EM POLEGADAS	PESO EM Kg
- 10 + 5	71,0
- 1 + 1/2	13,0
- 5 + 3	31,5
- 2 + 1	12,5
- 5 + 3	31,5
- 3 + 2	12,0
- 10 + 5	71,0

Resolveu-se usar uma polpa de 35% de sólidos dentro do moinho para ver se maior quantidade de água arrastaria melhor os finos para fora do moinho. Iniciou-se a operação de moagem com alimentação correspondente a 20 minutos pois concluiu-se que assim se conseguiria que o moinho estivesse em regime em menos tempo, o que se constatou ser verdadeiro. Com duas horas de operação o moinho já apresentava sinais de estar em regimen.

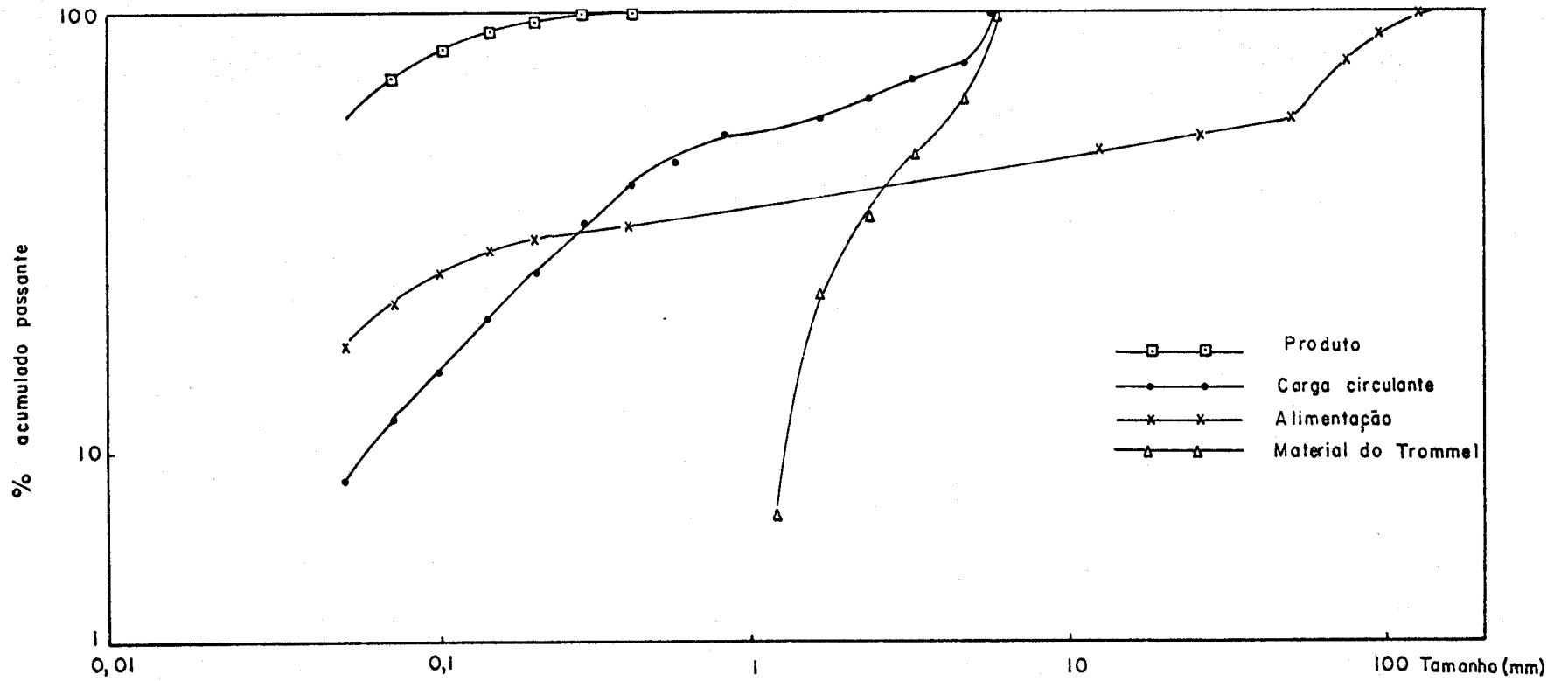
Nesta segunda série de ensaios usou-se no início a peneira de tela de 65 malhas mas que continuou dando problemas. Adotou-se a malha 20 para separação que não satisfez devido a obtenção de produto inadequado a qualquer processo de concentração por não estar ainda liberado. Optou-se pelo uso da malha 40, que não apresentou nenhum problema na peneiração e forneceu um produto adequado.

Deu-se a partida da operação de moagem com o moinho carregado de material correspondente a 20 minutos de operação, afim de se obter mais rapidamente o estado de equilíbrio.

3.2.2. Resultados Obtidos

Nestas condições operacionais se fizeram cinco testes sendo que nos três últimos a instalação funcionou perfeitamente e pode-se notar que, a partir de duas horas

Gráfico 1



contínuas de operação é que os resultados começam a apresentar constancia, enfim, o sistema entra em equilíbrio.

O Gráfico nº 1 apresenta a distribuição granulométrica do produto, da carga circulante e da alimentação.

A partir de duas horas de funcionamento as amostras retiradas do produto mostraram-se bem constantes.

Observou-se também que a percentagem de material abaixo de 270 malhas era alta e bem mais alta do que o valor obtido para o Itabirito de Ganhães.

TEMPO	HORAS	% PRODUTO MENOR QUE 270 MALHAS
	2	27,90
	2 e meia	35,24
	3	32,74
	3 e meia	30,81
	4	32,95
	4 e meia	31,44

Entretanto fazendo a análise no cyclosizer deste material menor que 270 malhas (53 microns) verificou-se que cerca de 75% dele é maior que 33 microns, uma granulometria ainda bem adequada para flotação e separação magné

tica.

Contamos que, com os testes que serão realizados com outros valores das variáveis em estudo, conseguiremos diminuir a quantidade de material abaixo de 74 microns com a finalidade de adequar o material moído a concentração gravimétrica⁽⁹⁾.

A carga circulante após duas horas de funcionamento apresentou o seguinte resultado:

TEMPO HORAS	CARGA CIRCULANTE
2	162%
3	161%
3 e meia	154%
4	165%
5	167%

O gasto de energia durante todo o teste manteve-se praticamente constante entre 6 e 7 Kwh por tonelada de minério moído.

Este gasto de energia está perfeitamente de acordo com os dados da literatura⁽⁸⁾ que cita para o minério de Bong Range (Liberia) uma hematita com camadas de quartzo, um gasto de 8,7 Kwh/tonelada.

4. CONCLUSÕES

Embora não tenham sido testados todos os valores dos parâmetros que nos propusemos a estudar e portanto ainda não otimizamos o processo, já podemos tirar varias conclusões:

1. O Itabirito do Cauê, conforme o previsto pelos testes de laboratório se desgasta rapidamente necessitando um tempo de residencia pequeno. Das velocidades de alimentação testadas 600 Kg/hora e 1000 Kg/hora a maior deu melhores resultados e podemos afirmar que o moinho terá um bom desempenho com 1200 Kg/hora desde que os outros parâmetros se mantenham constantes.
2. A velocidade do moinho usado durante os testes todos 85% Vc (83% moinho carregado) é conveniente à operação pois não produz material excessivamente fino (abaixo de 40 microns) e não permitiu que o meio moedor (material acima de 2 polegadas) sofresse fragmentação por impacto o que prejudicaria bastante a moagem autógena. Entretanto pretendemos testar a velocidade mais alta, que talvez nos forneça menos material ultra fino e menor gasto de energia.
3. A densidade de polpa utilizada (35% de sólidos) mostrou-se a mais conveniente para operação nas condições usadas pois com menos água a retirada dos finos do moinho é ineficiente e com mais água o gasto de energia por to

nelada de minério aumenta.

4. A alimentação (feita obedecendo a distribuição vinda da mina) parece-nos a mais adequada para uma utilização industrial. A classificação da alimentação em muitas frações não seria viável em grande escala mas a classificação em frações maior e menor que duas polegadas e a alimentação proporcional de cada uma das frações é prática já estabelecida pelo uso ⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾. De acordo com as características do minério que está sendo lavrado pode-se aumentar a proporção de uma ou de outra fração controlando assim a granulometria do produto.
5. O gasto de energia na operação de moagem foi coerente com os dados da literatura ⁽¹⁷⁾ e talvez possam ser diminuídos com o aumento da velocidade de alimentação e com o aumento da velocidade do moinho.
6. O produto obtido contendo 80% em peso do material menor que 100 malhas (0,147 mm) se adapta perfeitamente a separação magnética de alta intensidade ou a flotação, permitindo assim a elevação do teor de ferro até o adequado à metalurgia.

5 - BIBLIOGRAFIA

- 1) Hardinge, H.
AIME Transactions, Brimingham, Ala - Oct, 1908
- 2) Hall, R.G.
AIME Transactions, vol. 122, 1934
- 3) Jacksin O.A.E.
"The Treatment of Ore from the Gold Mines of Union Corporation Ltd".
The Institution of Mining and Metallurgy - London 1953
- 4) Hardinge, H.
"Autogenous Grinding"
Mining Congress Journal , Oct. 1958
- 5) Christie, J.D.
"Mineral Beneficiation Review"
Mining Engineering, vol, 24, nº 2, 1972
- 6) Fahlström, S.
"Comminution by tumbling autogenous Charges"
Mine and Quarry Engineering, june 1961
- 7) Crocker, B.S.
"Acreeened Ore used for fine grinding at Lake Shore Mines"
AIME Trans., vol. 193, 1952
- 8) Figueira H.V.
"Moagem Autógena, seu estudo em laboratório" Tese de curso à livre docencia Escola de Engenharia -UFRJ. 1974

- 9) Morato A. G.
"Moagem autógena de Itabirito em Escala de Laboratório"
Tese de mestrado - COPPE- UFRJ- 1974

- 10) Mac Pherson A.R.
"A simple method to predict the autogenous grinding mill requirements for processing ore from a new deposit".
Society of Mining Engineers of AIME -IB- 327. 1976

- 11) Digree M.
"Wet Autogenous Grinding in Tumbling Mills"
Acta Polytechnica Scandinavica nº 88- 1969

- 12) Stanley G.G.
"Mechanisms in the autogenous mill and their mathematical representation".
Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy pg. 77, nov. 1974

- 13) Hukki R.
" All autogenous Grinding at Supercritical Speeds"
Mine and Quarry Eng. pg. 304, vol 24, nº 7, 1958

- 14) Marechal B.
"La fragmentation quasi-autogene en voie seche"
Revue de L'industrie minerale vol 51, nº 3-1969

15) Bergstedt L. e Gragrëno O.

"Some basic factors influencing the use and optimization of Autogenous Grinding"

Mining Engineering, pg 193, feb. 1978

16) Manlapig E.V. e Seitz R.A.

"Analysis Breakage mechanisms in autogenous grinding"

XII Int. Mineral Processing Congress

Preprints papers vol I - 1979

17) Jacobs W. e Feik J.

"Comparative testes of grinding α banded hematitequartz iron ore in a rod mill and in a cascade mill of large dimensions"

VI Int. Mineral Processing pg 45 Cannes 1963