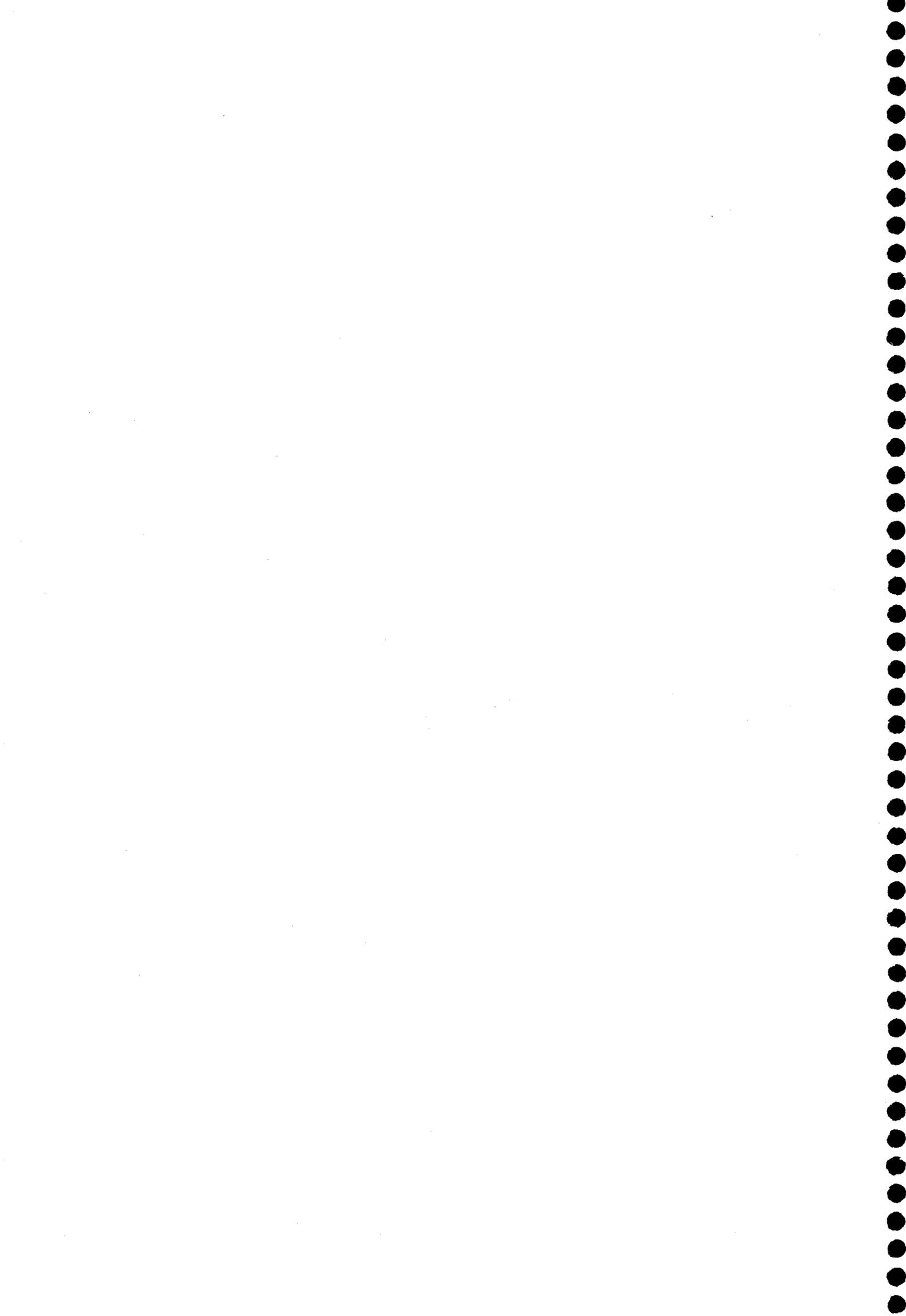


Cinética de abrasão da hematita

Oscar Delgado *
K. Rajagopal *

1. INTRODUÇÃO
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS
3. AMOSTRAS, EQUIPAMENTOS E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS
4. VARIÇÃO DO TORQUE COM A MASSA DAS AMOSTRAS E A VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO MOINHO
5. CINÉTICA DA ABRASÃO DA HEMATITA
6. DISCUSSÃO
7. CONCLUSÕES
8. BIBLIOGRAFIA



Resumo

Experiências de abrasão foram realizadas num equipamento de laboratório para estudos de moagem, utilizando amostras de hematita com tamanhos compreendidos entre 140 e 230mm, classificadas de acordo com as suas formas, segundo o critério de Zingg.

1. Introdução

A representação fenomenológica do processo de redução dos tamanhos das partículas na moagem autógena de minérios pode ser formulada em função dos seguintes mecanismos: 1) o mecanismo de quebra das partículas menores, como resultado dos impactos do meio moedor. 2) o mecanismo de abrasão dos fragmentos maiores que constituem o meio moedor, por interação entre fragmentos ou destes com a carcaça do moinho (1).

Vários trabalhos visaram descrever o segundo mecanismo, através da observação do comportamento cinético de amostras aleatoriamente escolhidas (2,3). Porém naqueles trabalhos não analisou-se a cinética de abrasão das amostras que constituem o meio moedor pela classificação das suas formas.

O presente trabalho trata da cinética de abrasão de amostras de hematita com tamanhos compreendidos entre 140 e 230mm, classificadas de acordo com as suas formas, segundo o critério de Zingg (4), usando um equipamento de laboratório para estudos de moagem.

2. Fundamentos teóricos

O processo de abrasão de amostras de hematita consiste de duas etapas: 1) o desprendimento de lascas da superfície irregular das amostras e 2) a produção de finos por atrito da superfície regular das mesmas, considerando que ambas etapas acontecem simultaneamente com cinética de primeira ordem, a fração de amostra em qualquer instante do tempo de abrasão pode ser representada pela equação:

$$\frac{W(t)}{W(0)} = (1 - \beta) e^{-S_1 t} + \beta e^{-S_2 t} \quad (1)$$

onde:

$W(t)$ \equiv massa da amostra no tempo de abrasão t .

$W(0)$ \equiv massa da amostra no início do processo.

Verificou-se a ocorrência simultânea do desprendimento de lascas da superfície irregular das amostras e da abrasão da superfície regular das mesmas.

Os processos de abrasão das amostras apresentaram cinéticas de primeira ordem, sendo determinado para cada caso as respectivas taxas específicas de abrasão.

S_1 \equiv taxa específica de desprendimento de lascas.
 S_2 \equiv taxa específica de abrasão.
 β \equiv proporção de $W(t)/W(0)$ correspondente à abrasão.

Denominando-se por W_i^* a fração da amostra obtida experimentalmente no intervalo de abrasão i , é possível calcular a magnitude de β , minimizando a soma dos quadrados da diferença entre valores experimentais e calculados de $W(t)/W(0)$, obtendo-se a seguinte expressão:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i^* - e^{-S_1 t_i}) (e^{-S_1 t_i} - e^{-S_2 t_i})}{\sum_{i=1}^n (e^{-S_1 t_i} - e^{-S_2 t_i})} \quad (2)$$

3. Amostras, equipamento e condições experimentais

As experiências de abrasão foram efetuadas usando amostras de hematita, proveniente do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, com um conteúdo aproximado de ferro de 68% e tamanhos compreendidos entre 140 e 230mm, classificadas de acordo com as suas formas segundo o critério de Zingg (4) como indicado na Tabela I, denominando-se por A, B e C os diâmetros maior, intermediário e menor, respectivamente. Cada amostra foi marcada com perfurações de vários diâmetros, para facilitar sua identificação durante a execução do trabalho experimental.

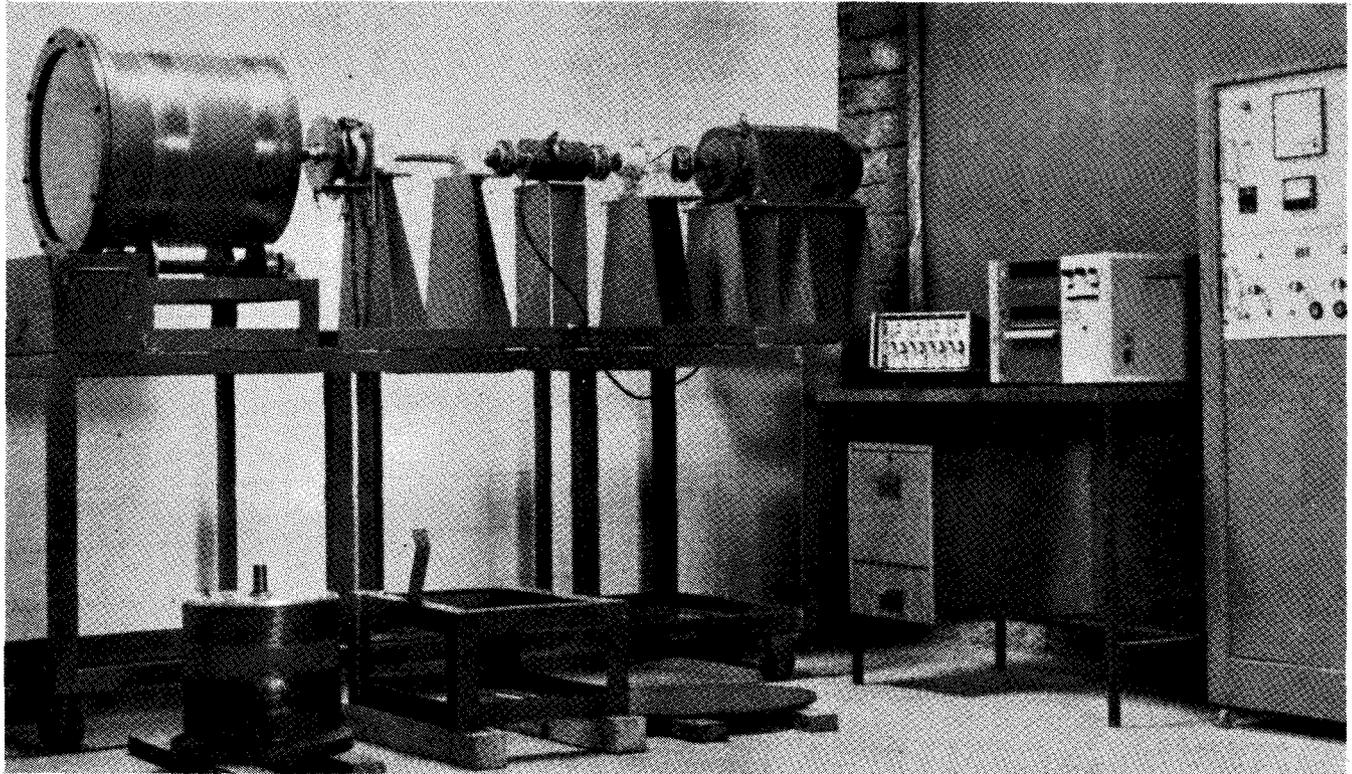
Tabela I - Forma dos Seixos Segundo Zingg (4)

CLASSE	B/A	C/B	FORMA
1	> 2/3	< 2/3	Discóide
2	> 2/3	> 2/3	Esférica
3	< 2/3	< 2/3	Lamelar
4	< 2/3	> 2/3	Alongada

A figura 1 apresenta o equipamento de laboratório para estudos de moagem, que serviu para efetuar os ensaios de abrasão. Esse equipamento é composto por uma estrutura de cantoneira de 2000x700x760mm, na qual foi instalado um motor de corrente alternada trifásica de 220V-1,5HP-1700 R.P.M., dotado de uma embreagem eletromagnética para acoplar ou desaco-

plar o sistema de transmissão de energia. Um circuito eletrônico de controle, ligado a este motor, permitiu manter automaticamente as velocidades de rotação constantes. Como as experiências de abrasão são normalmente efetuadas a baixas rotações, foi necessário instalar um redutor de 1:1.

Figura 1 - Equipamento de Laboratório para Estudo de Moagem



No mesmo eixo de transmissão foram instalados um transdutor de torque, um freio eletromagnético, um contador mecânico e um sistema de chaves óticas, para o controle e contagem programada das rotações do moinho.

No extremo final do mesmo eixo foi acoplado uma carcaça de 580x235mm, dotada de 8 "lifters" de 25x12,5x235mm. Os sinais transmitidos pelo transdutor de torque, após passarem por um amplificador DPM-310A da Kyona Electronic Instruments Ltd., são registrados num oscilógrafo eletromagnético RMW-520A, da mesma procedência⁽⁵⁾.

4. Variação do torque com a massa das amostras e a velocidade de rotação do moinho

Acoplando-se ao equipamento de moagem a carcaça de 235mm de comprimento e 580mm de diâmetro, foi determinada a variação do torque, e conseqüentemente, a variação do consumo de energia com relação ao peso total das amostras de hematita de forma esférica, discóide, lamelar e alongada, com tamanhos compreendidos entre 140 e 230mm para uma velocidade de rotação do moinho de 40 R.P.M. Os resultados dessas experiências, que se encontram na Figura 2, indicam que quando o teste de abrasão é feito com uma carga de aproximadamente 55kg de amostras, o torque total atinge um máximo em torno de 290, 200, 185 e 170kg.

cm para as amostras de forma esférica, discóide, alongada e lamelar, respectivamente.

Em experiências efetuadas mantendo-se constante aproximadamente 54kg de amostras de forma esférica, discóide, alongada e lamelar, para velocidades de rotação do moinho compreendidas entre 20 e 70 R.P.M., o torque total atingiu um máximo em torno de 220, 210, 195 e 180kg.cm, respectivamente, para uma velocidade de rotação na faixa de 45 R.P.M. (ver Figura 3).

5. Cinética de abrasão da hematita

Com o equipamento de moagem preparado para funcionar a 45 R.P.M., foram feitos ensaios de abrasão, com o uso de aproximadamente 55kg de amostras de hematita de forma esférica, discóide, alongada e lamelar em intervalos de 1 e 10 minutos, até completar 120 minutos. A cada intervalo os seixos foram retirados do interior do moinho e pesados; o produto resultante da abrasão, em cada operação, após efetuar-se a análise granulométrica, usando-se uma série de peneiras $\frac{1}{2}$, foi definitivamente descartado. As frações do material em diferentes instantes do processo de abrasão foram representadas em escalas semi-logarítmicas (ver Figura 4) para definir a predominância das etapas de desprendimento de lascas da superfície irregular das amostras e de abrasão da superfície regular das mesmas. Em cada caso, foram calculadas as respectivas taxas. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela II.

Figura 2 - Torque em função da massa de hematita de forma esférica, discóide, lamelar e alongada, com tamanhos compreendidos entre 140 e 230 mm, para 40 R.P.M.

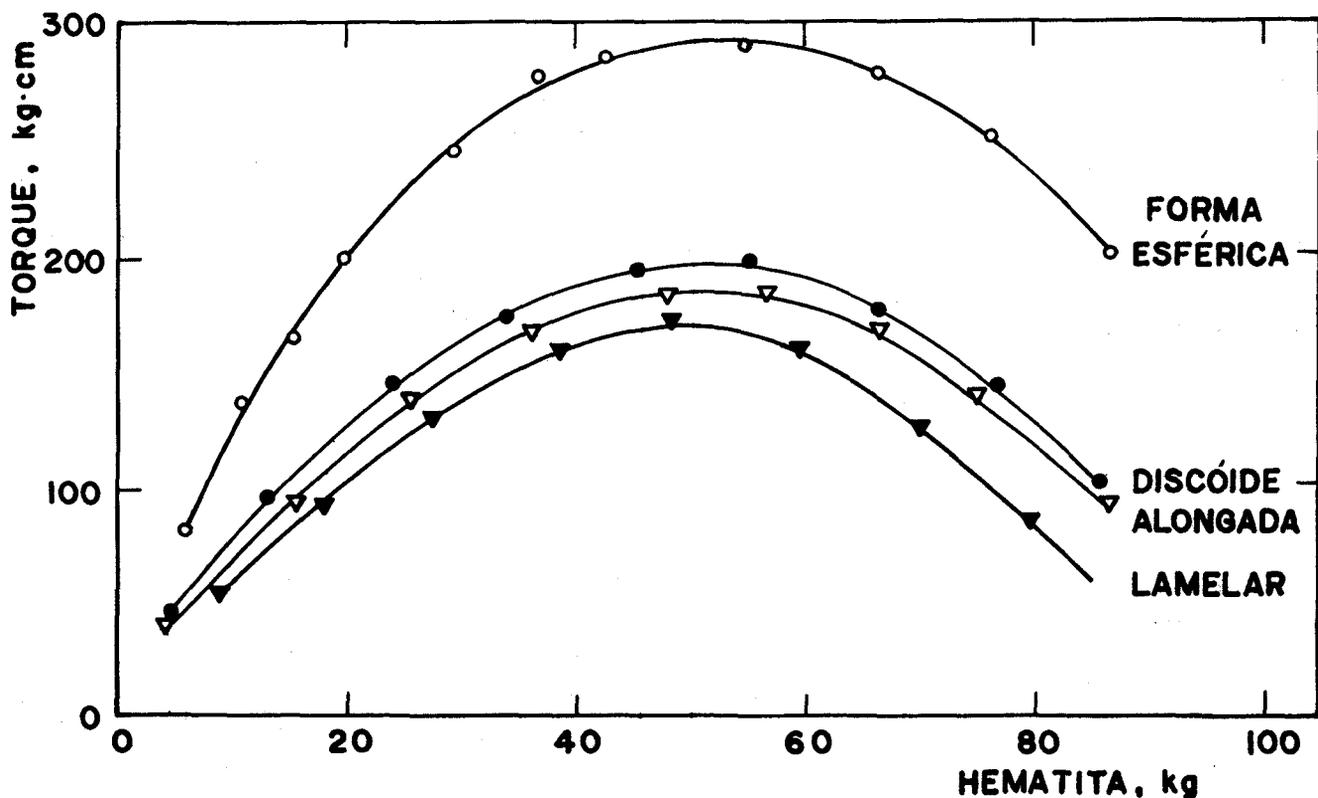


Figura 3 - Torque em função da velocidade de rotação do moinho, para 54kg de hematita de forma esférica, discóide, lamelar e alongada, com tamanhos compreendidos entre 140 e 230 mm.

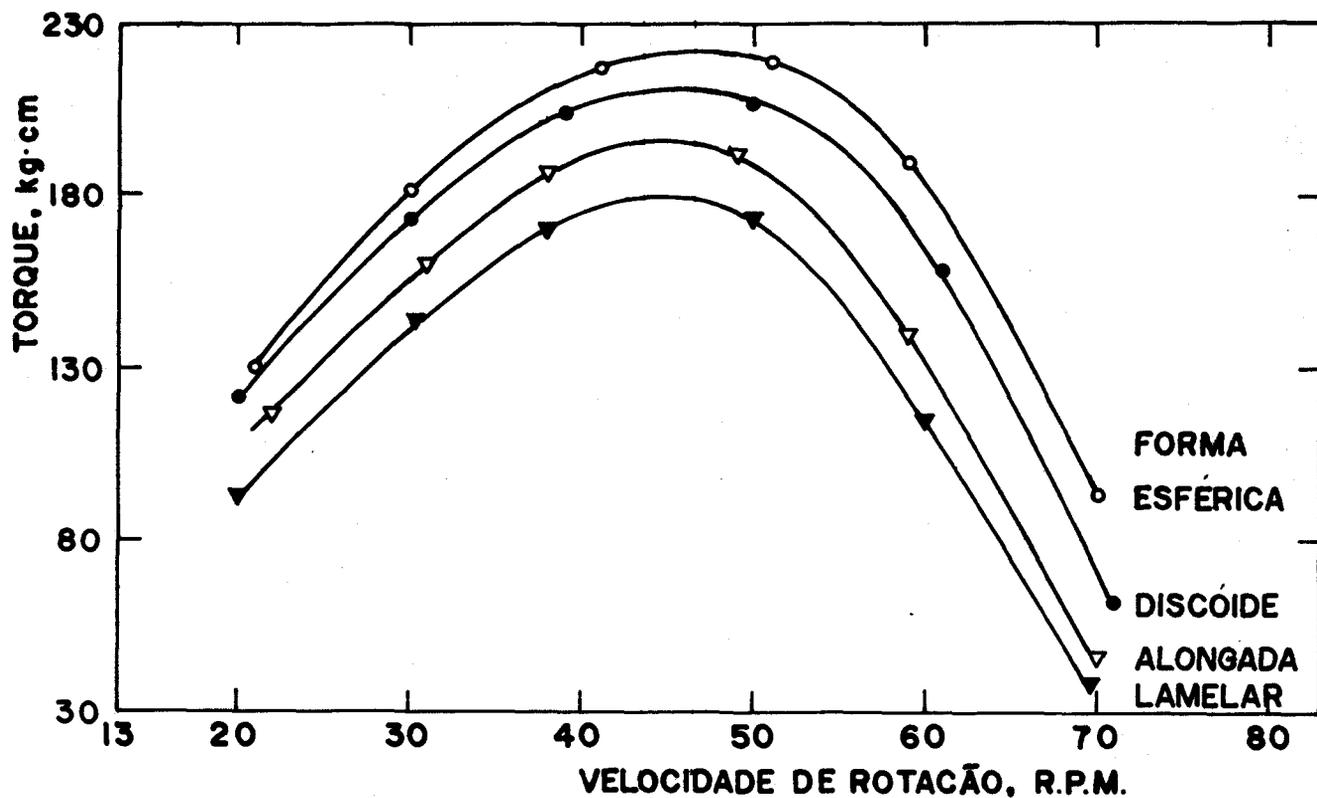
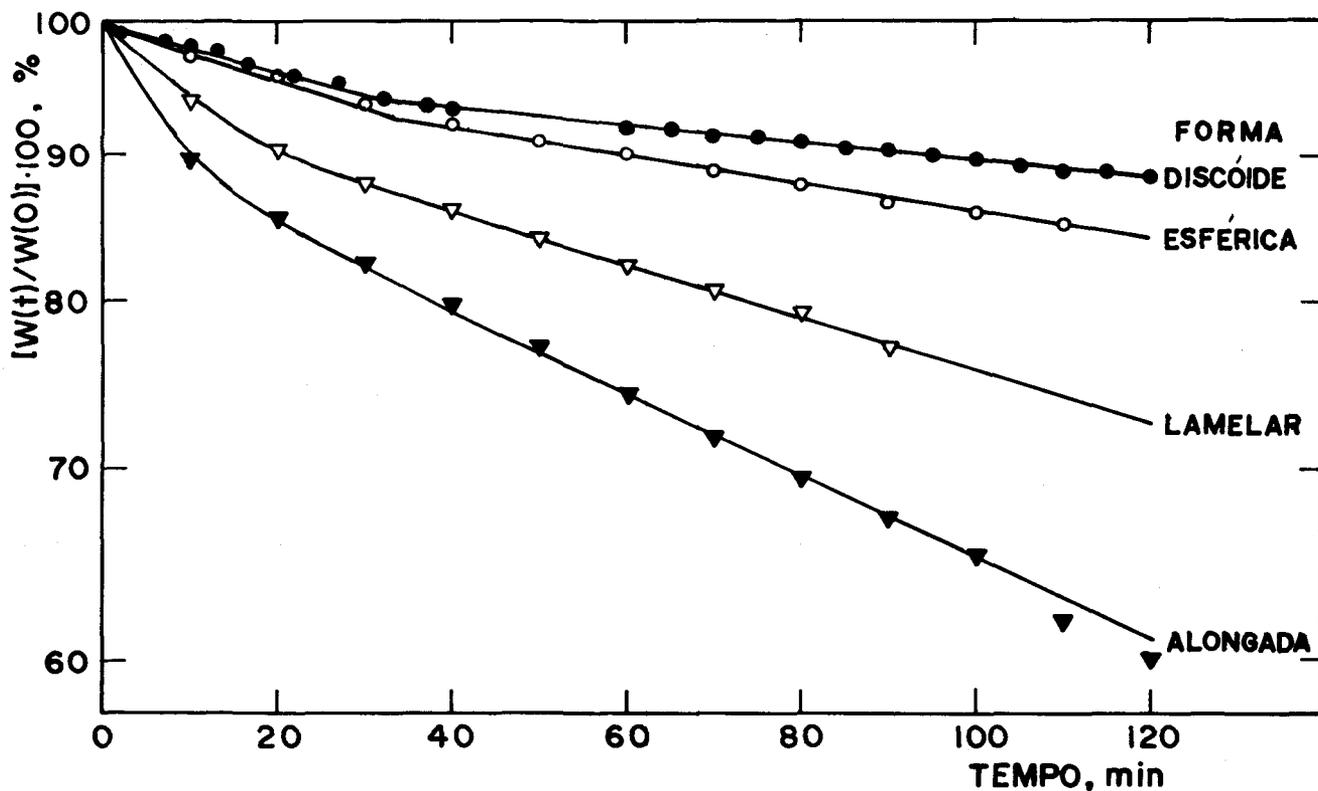


Figura 4 - Cinética de abrasão da hematita de forma esférica, discóide, lamelar e alongada, com tamanhos compreendidos entre 140 e 230 μ m. A linha contínua foi simulada pela Equação 1.



A distribuição dos tamanhos das partículas em cada intervalo do processo de abrasão, segue a forma fun

cional do exemplo que se apresenta na Figura 5.

Figura 5 - Distribuição dos tamanhos das partículas do produto resultante após 20 minutos de abrasão de amostras de hematita de forma esférica.

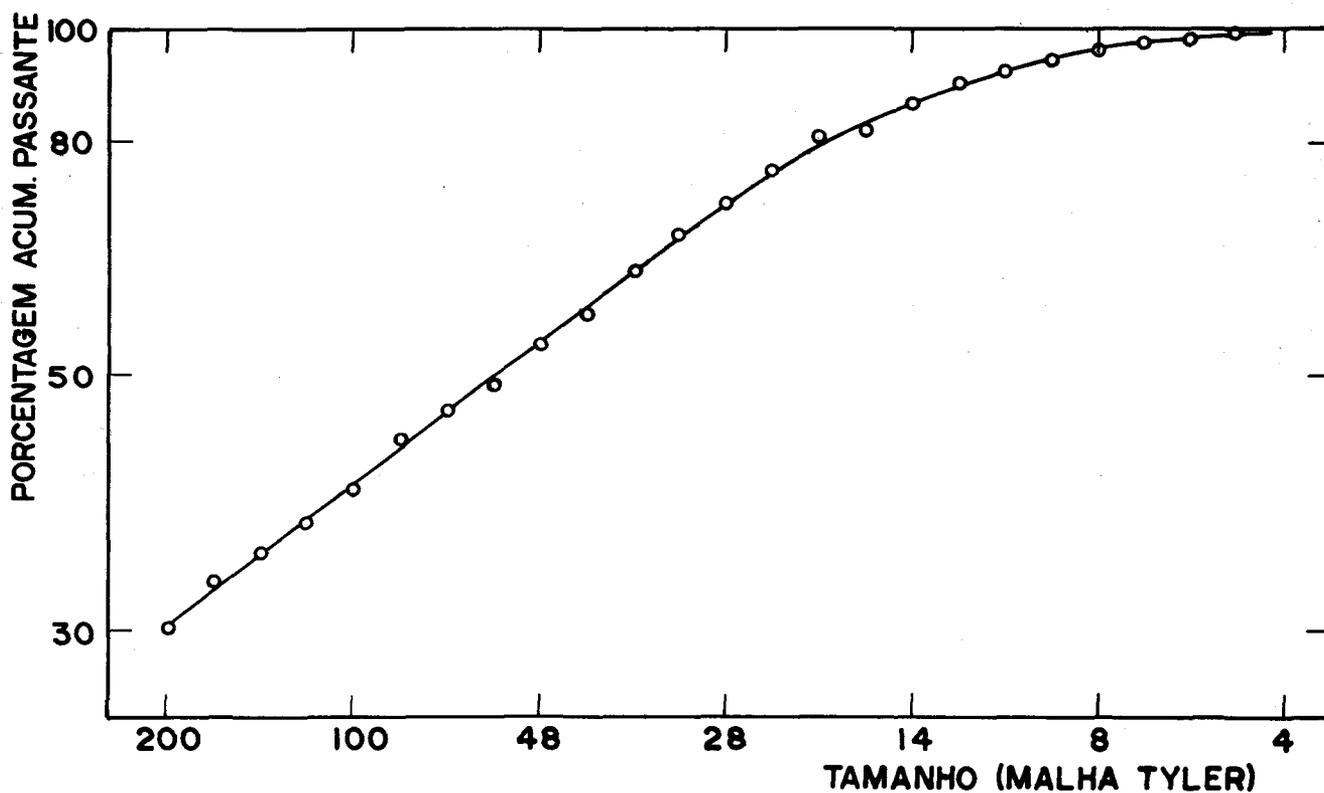


Tabela II - Constantes cinéticas do processo de abrasão da hematita

FORMA	S_1	S_2	β
Discóide	$1,4778 \cdot 10^{-1}$	$6,8500 \cdot 10^{-4}$	0,9629
Esférica	$7,1997 \cdot 10^{-2}$	$1,1850 \cdot 10^{-3}$	0,9660
Lamelar	$2,1875 \cdot 10^{-1}$	$2,1290 \cdot 10^{-3}$	0,9370
Alongada	$3,5534 \cdot 10^{-1}$	$3,4990 \cdot 10^{-3}$	0,9178

6. Discussão

Com o uso da equação (2) e dos valores determinados experimentalmente das taxas específicas de desprendimento de lascas, S_1 e de abrasão, S_2 , foi possível calcular os valores de β para as quatro formas em estudo. Tais resultados encontram-se na Tabela II e mostram que a segunda etapa de abrasão predomina nos quatro casos. A seguir a equação (1) permitiu calcular a fração $W(t)/W(o)$ do material em qualquer instante do processo de abrasão, esses resultados junto com aqueles obtidos experimentalmente são apresentados em forma de gráfico na Figura 4. As curvas permitem distinguir duas etapas: 1ª) o desprendimento de lascas das superfícies irregulares das amostras que acontece para as quatro formas nos primeiros períodos de tempo do processo; 2ª) a abrasão das superfícies regulares das mesmas. As taxas específicas para ambos os casos são apresentadas na Tabela II.

As diferenças percentuais entre valores da fração $W(t)/W(o)$ experimentais e calculados do material mostraram que, durante o processo de abrasão das amostras de hematita nas formas esféricas, lamelar e alongada, oscilam em torno de 0,3% para o intervalo do tempo compreendido entre 0 e 120 minutos; e em torno de 0,6%, para o caso da hematita de forma discóide no mesmo intervalo. Tais resultados mostram que a equação (1) representa adequadamente o

7. Conclusões

- As condições ótimas de operação do equipamento de moagem, para o processo de abrasão de hematita, usando-se a carcaça de 235mm de comprimento e 580mm de diâmetro, são: aproximadamente 55kg de amostras de forma esférica-discóide-lamelar ou alongada, com tamanhos compreendidos entre 140 e 230mm para uma velocidade de rotação do moinho de 45 R.P.M.
- Verificou-se que a cinética de abrasão de amostras de hematita de forma esférica, discóide, lamelar e alongada, com tamanhos compreendidos entre 140 e 230mm, do tipo descrito no presente trabalho, é de primeira ordem.
- Durante o período inicial do processo de abrasão das amostras, ocorre o desprendimento de lascas da superfície irregular das amostras; e posteriormente predomina a abrasão da superfície regular das mesmas.
- A equação (1) representa adequadamente o processo de abrasão de amostras de hematita das quatro formas estudadas no presente trabalho.

8. Bibliografia

- DIGRE, M. Wet autogenous grinding in tumbling mills. *Acta Polytechnica Scandinavica*, ch.88: 1-26, 1969.
- MANIAPIG, E.V., et alii. Analysis of the breakage mechanisms in autogenous grinding. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 13, Warsaw, 1979. p. 483-97.
- KERL, J.F. Autogenous grinding in laboratory tumbling mills. *Trans. AIME*, 250: 188-193, Sep. 1971.
- PETTLJOHN, F.J. *Rocas sedimentarias*. Buenos Aires, Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1970. 61 p.
- DELGADO, O. & RAJAGOPAL, K. Equipamento de laboratório para estudos de moagem. In: ENCONTRO SOBRE ESCOAMENTO EM MEIO POROSOS, 11 Out. 1983. *Anais...* p. 84-93.

Agradecimentos

Os autores agradecem os auxílios concedidos a este trabalho pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).