

ESTUDO DO EFEITO DA VARIAÇÃO DO MECANISMO DE DESGASTE
ABRASIVO NO ENSAIO DE ABRASÃO DE BOND. TENTATIVA DE
CORRELAÇÃO COM O DESGASTE DE REVESTIMENTO DE MOINHO

RESUMO

Foi feita uma modificação no ensaio de Abrasão de Bond, de modo a poder variar o mecanismo de Desgaste Abrasivo predominante durante o teste. Desta forma o sistema tribológico do ensaio se aproxima mais do sistema que ocorre na moagem de minerais em moinhos de barras e bolas.

Foram realizados ensaios utilizando-se dois tipos de minerais e os corpos de provas foram analisados em microscopia eletrônica de varredura para identificação dos mecanismos predominantes. O desgaste é crescente quando se passa de um mecanismo de impresão para o mecanismo de sulcamento e depois de corte. Propõe-se um desenvolvimento futuro para o estabelecimento de correlação com o desgaste que ocorre em revestimentos de moinhos de bolas e barras.

Dr. Roberto Gilioli Rotondaro
Gerente Técnico da Fábrica de Aço Paulista S.A.

1. INTRODUÇÃO

O desgaste abrasivo dos revestimentos de moinhos de barras e bolas juntamente com os dos corpos moedores constituem um dos principais custos operacionais na moagem comercial. Os trabalhos de Bond (1) na elaboração de um teste de laboratório capaz de prever o desgaste metálico dos revestimentos são um significativo avanço neste campo.

Todavia, as características do sistema tribológico, que constitui um moinho e suas possíveis variações, tornaram a aplicação dos ensaios de Bond, pode-se dizer, inconsistente em alguns casos (2).

Há necessidade de se determinar o sistema tribológico e estudar as variáveis importantes para se chegar a uma compreensão do que ocorre no campo.

Neste trabalho procurou-se estudar o efeito da variação do mecanismo de desgaste abrasivo predominante em um sistema tribológico através de modificações do ensaio de índice de abrasão de Bond. Estas modificações visam poder se controlar os mecanismos predominantes durante o ensaio: impresão, sulcamento e corte (2). Procura-se uma possível correlação com o efeito que se verifica no desgaste dos revestimentos de moinhos quando os mecanismos de desgastes variam em consequência da mudança de sua forma.

1.2. TESTE DE ÍNDICE DE ABRASÃO DE BOND

Bond (1) propôs relacionar o desgaste com a energia consumida no processo abrasivo. O termo "gramas de metal gasto por tonelada britada" não é satisfatório, pois não prevê as diferenças das granulometrias do produto alimentado na máquina e as diferenças de britabilidade. O termo que ele propôs foi "gramas de metal gasto por quilowatt-hora consumido no processo". Bond avançou mais nesse conceito e desenvolveu um teste de abrasão e correlacionou os resultados, aos quais chamou de Ai-Índice de Abrasão, com experiências no campo. Após trabalhos desenvolvidos no período de 1956 a 1963, publicou relações como a tabela I.

As condições em que esses trabalhos foram realizados foram de finidas por aços com dureza de 300 a 350 HB.

Posteriormente, com a utilização de ferros fundidos brancos na moagem, as relações perderam a validade.

TABELA I - FÓRMULAS PARA PREVER DESGASTE BOND

EQUIPAMENTO lb/Kwh	FÓRMULA
Moinho via úmida barras	$0,35 (Ai - 0,02)^{0,2}$
Revestimentos	$0,035 (Ai - 0,015)^{0,3}$
Moinho via úmida bolas	$0,35 (Ai - 0,015)^{1/3}$
Revestimentos	$0,026 (Ai - 0,015)^{0,3}$
Britadores - giratórios, mandíbulas, cones, revestimentos.	$\frac{Ai + 0,022}{11}$

A figura 1 mostra o equipamento utilizado para o ensaio de índice de abrasão.

Uma palheta de metal de 76,4 mm X 6,4 mm é inserida numa pro-

fundidade de 25 mm em um rotor de 114,3 mm de diâmetro, que gira em um eixo horizontal com uma rotação de 632 rpm, através de abrasivo que cai. Uma área da palheta, de $25,4 \text{ mm}^2$, é exposta à abrasão, é a ponta da palheta, que está a uma distância de 107,9 mm do centro, tem uma velocidade linear de "1.410 pés" por minuto. O rotor é concêntrico, comum tambor de 304,8 mm de diâmetro e 114,3 mm de profundidade, que gira a 70 rpm na mesma direção que a palheta. A circunferência interna do tambor tem saliências feitas com soldas de chapa para dar algum efeito levantador ao abrasivo e despejá-lo sobre a palheta.

Para o teste o mineral é preparado de modo que sua granulometria permita que passe numa tela de 3/4 de polegada quadrada e seja retido em uma tela de 1/2 polegada quadrada.

Quatrocentos gramas do mineral classificado são colocados no tambor, que é fechado, e o teste roda por quinze minutos. Então, o tambor é esvaziado e outros quatrocentos gramas são adicionados por três vezes consecutivas.

Assim, após uma hora de teste, a palheta é retirada e pesada até a quarta casa decimal. A perda de massa em gramas da palheta é o A_i do mineral.

1.3. FORMA GEOMÉTRICA DOS REVESTIMENTOS DE MOINHOS E SUA INFLUÊNCIA NO DESGASTE (3)

Qualquer placa de revestimento de corpo de um moinho - que é a parte do revestimento que efetivamente contribui para o trabalho de moagem, ao contrário do revestimento das tampas, ou das grelhas do diafragma - apresenta, de uma forma ou de outra, uma ondulação.

A superfície de trabalho de uma placa de corpo é composta

pela parte alta da onda (o LEVANTADOR ou "LIFTER") e pela parte ou partes baixas da onda (aba ou abas laterais). Quando o lifter "entra" pela rotação do moinho, na massa de corpos moedores (a qual não acompanha completamente essa rotação) descrevendo um movimento relativo peculiar (ver figura 2) passa a haver apenas um pequeno movimento relativo entre os corpos moedores adjacentes às placas e estas. Isto é, obviamente, se a forma das placas for adequada, e se estas não perderam ainda a sua CAPACIDADE LEVANTADORA, isto é, o lifter não estiver demasiadamente desgastado, de forma a deixar escapar esses corpos moedores. O bordo de ataque do lifter, ao entrar, como dissemos, na carga de corpos moedores vai empurrar determinada quantidade destes (barras ou bolas) os quais preenchem assim o "vale" ou concavidade formada por dois lifters consecutivos. (Figura 3)

Estes corpos moedores tendem a escapar-se, mas são impedidos pela força centrífuga e pelo peso das restantes camadas de corpos moedores e do material a moer, mantendo-se assim solidários com as placas até atingirem o topo da carga, caindo então livremente sobre o declive que esta apresenta na sua superfície livre superior.

Nestas condições há predominância de impactos dos corpos moedores sobre os revestimentos, o que favorece o mecanismo de desgaste de Impressão. (2)

Conforme ocorre o desgaste da placa a parte alta da onda vai desgastando (figura 4) e perde sua capacidade de "an-corar" os corpos moedores, que começa a escorregar sobre as placas. Há condições para ocorrerem os mecanismos de desgaste de corte e sulcamento (2).

A figura 5 mostra a curva de desgaste em um moinho de bolas FAÇO de 15' X 19' com as seguintes características:

- bolas máximo: 50 mm
- grau de enchimento: 39% - 40%
- % velocidade crítica: 70%
- tipo overflow
- carga circulante: 300%
- mineral: 50% sericita, 45% quartzo, 5% outros.
- revestimentos: dupla onda em ferro tipo ASTM AS 532
classe II, tipo D, 658 HB

Observa-se que há um ponto de inflexão quando o desgaste da onda atinge um valor de 35 mm aproximadamente.

Na primeira fase há o ancoramento dos corpos moedores e o mecanismo predominante é o de impressão, provocado pelo impacto das bolas. Na segunda fase, como os corpos moedores escorregam, os mecanismos de sulcamento e corte passam a ser importantes. (2)

A figura 6 mostra esquematicamente a relação entre os mecanismos de sulcamento e corte com o ângulo de ataque do mineral. Conforme vai predominando o corte o desgaste vai crescendo. (5)

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi feita uma modificação no ensaio de Índice de Abrasão de Bond, de modo a poder variar o ângulo de ataque do mineral sobre a palheta de teste. (Figura 7)

Deste modo os ensaios, conforme descrito em 1.2., foram realizados variando-se os ângulos de ataque em: 0°, 15°, 30°, 45° e 60°. A palheta foi feita com aço SAE 4140 temperado para uma dureza de 549 HB.

Utilizou-se dois tipos de materiais, a saber:

- Granito: Feldspato 70% - Dureza na escala Mohs 6,5
 Quartzo 15% - Dureza na escala Mohs 7
 Biotita 15% - Dureza na escala Mohs 3,5
 W1 11,12
- Hematita: 100% Dureza na escala Mohs 5,5 W1 13,53

As palhetas foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura para identificação do mecanismo de desgaste predominante. Utilizou-se a mesma técnica de referência. (2)

RESULTADOS

A figura 8 mostra um gráfico relacionando o ângulo da palheta e o índice de abrasão A_i correspondente para cada material.

As figuras 9, 10, 11, 12 e 13 mostram as micrografias feitas no microscópio eletrônico de varredura, efetuadas nas palhetas ensaiadas.

Para ângulo de 0° o mecanismo predominante para ambos os materiais é o de Impressão. (Figura 9)

Para a hematita, conforme o ângulo varia para 15° e 45° (figuras 10 e 11), há um aumento na presença de marcas de sulcamento, de modo que este mecanismo predomina nos ensaios com ângulo de 30°, 45° e 60°.

Para o granito ocorre o fenômeno semelhante ao da hematita com a diferença que se observa a presença também de cortes. (Figuras 12 e 13).

COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Os resultados do ensaio de abrasão demonstram que o mecanismo de Impressão provoca menos desgaste que os mecanismos de Sulcamento e Corte de acordo com a Bibliografia.

A modificação feita no ensaio de Bond permitiu ter-se um controle sobre o mecanismo predominante de desgaste que ocorre durante o teste.

Deste modo, pode ser feita uma simulação para as várias fases da vida de um revestimento de moinhos.

O desenvolvimento de materiais pode ser mais efetivo, pois poderemos estudar o efeito de modificações de suas características para cada situação tribológica.

A continuidade deste trabalho será feita procurando-se a correlação com o comportamento de revestimento de moinho. O teste deve ser feito utilizando-se o mesmo mineral moído, e a palheta feita do mesmo material utilizado para a confecção do revestimento. O ângulo de ataque do mineral a 0° para a simulação da fase, onde há predominância do mecanismo de impressão, e a 45° onde há predominância de sulcamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BOND C. FRED
Metal Wear in Crushing and Grinding
54th Annual Meeting of American Institute of Chemical
Engineers 12,3,1963 - Houston - Texas
Fábrica de Aço Paulista SA
Av. Presidente Wilson, 1716
(publicação interna da Allis-Chalmers)
- (2) ROTONDARO R. G.
Tese de Doutorado
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - 1988
- (3) FÁBRICA DE AÇO PAULISTA SA
Manual de Britagem
Av. Presidente Wilson, 1716 - São Paulo
- (4) LOPES M. C.
Comunicação Interna da Fábrica de Aço Paulista SA
- (5) GAHR H. K. ZUM
Microstructure and wear of materials - Elsevier -
Sara Burgerhartstraqt 25 - P. O. BOX 211 -
1000 AE - Amsterdam N.

FIGURA 1

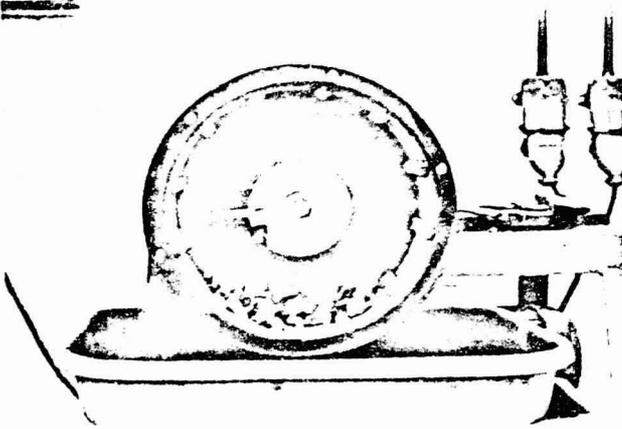


FIGURA 2

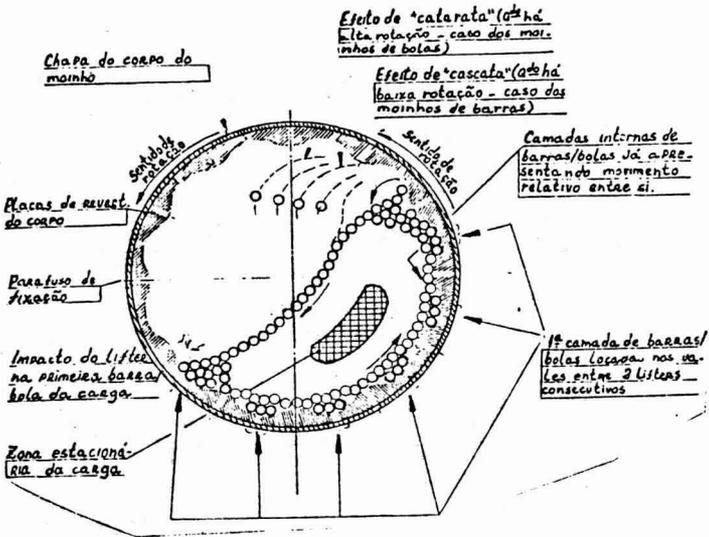


FIGURA 3

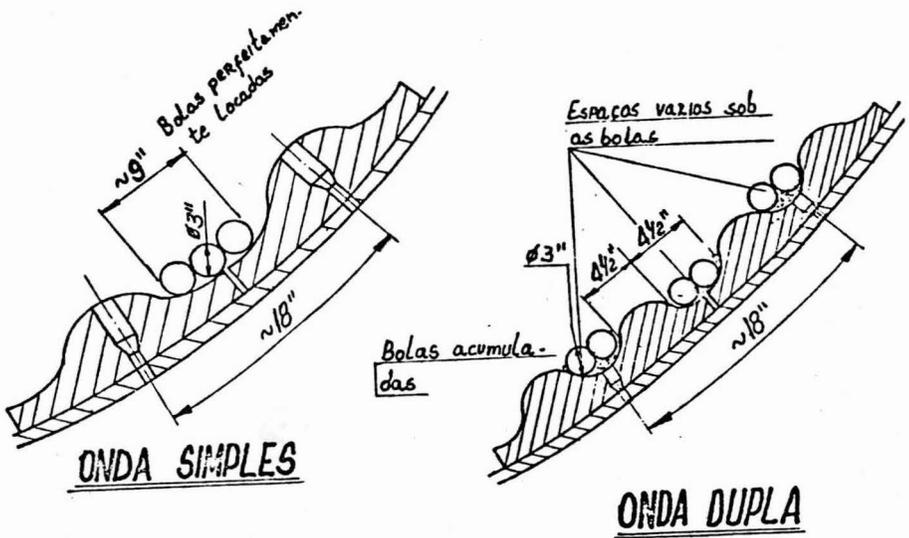
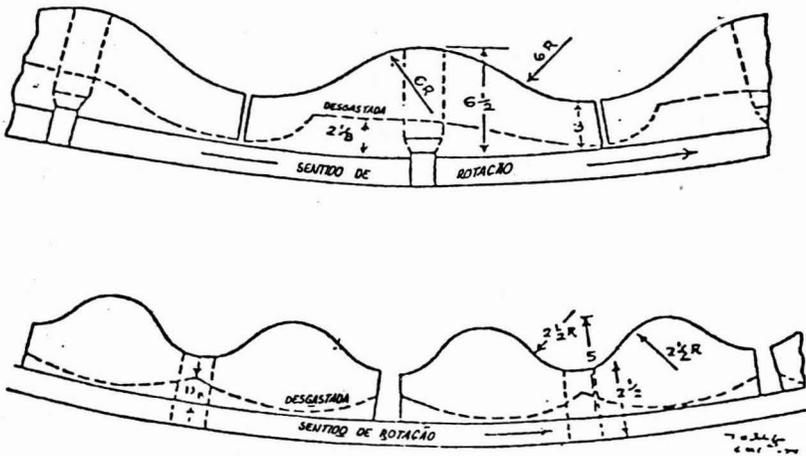


FIGURA 4



CONTROLE DE DESGASTE DO REVESTIMENTO DO MOINHO DE BOLAS.

FIGURA 5

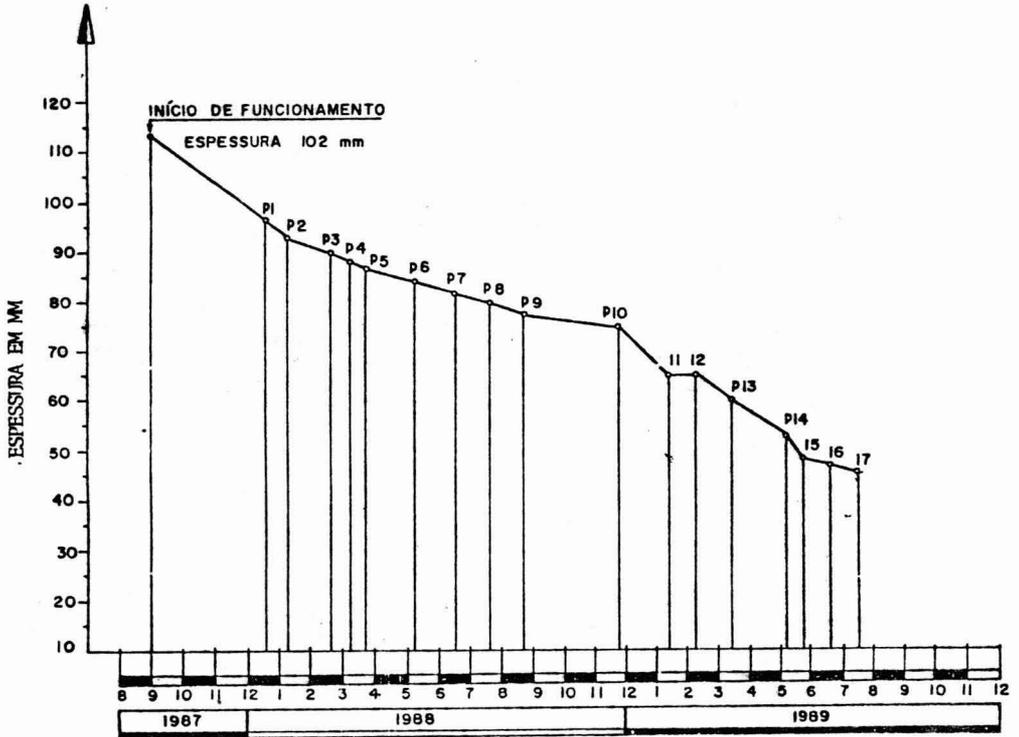


FIGURA 6

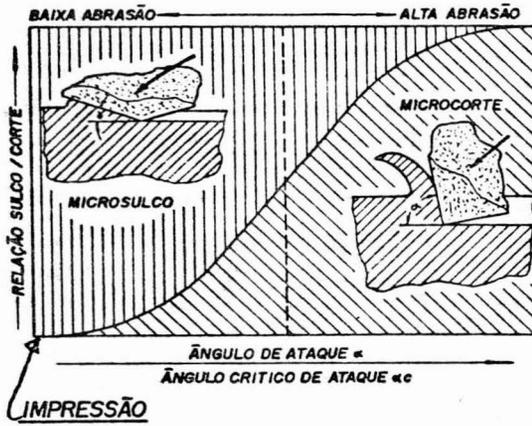


FIGURA 7

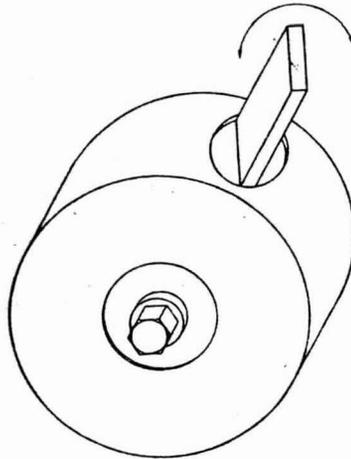


FIGURA 8 - Resultados do ensaio de índice de abrasão

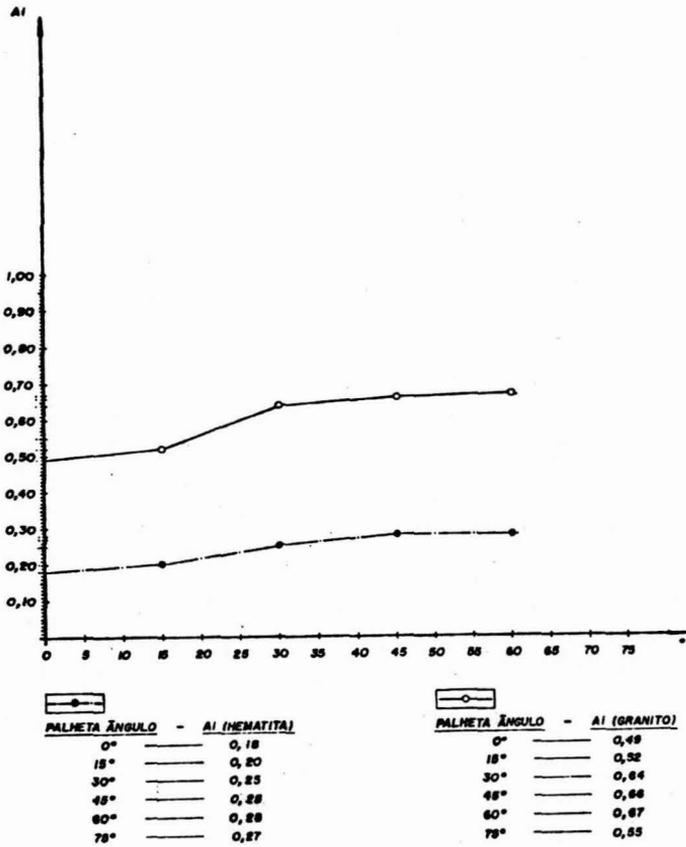


FIGURA 9

Ensaio de Índice de Abrasão com Hematita, ângulo da palheta 0°. O mecanismo é de Impressão. Há extensa formação de camadas deformadas sobrepostas.

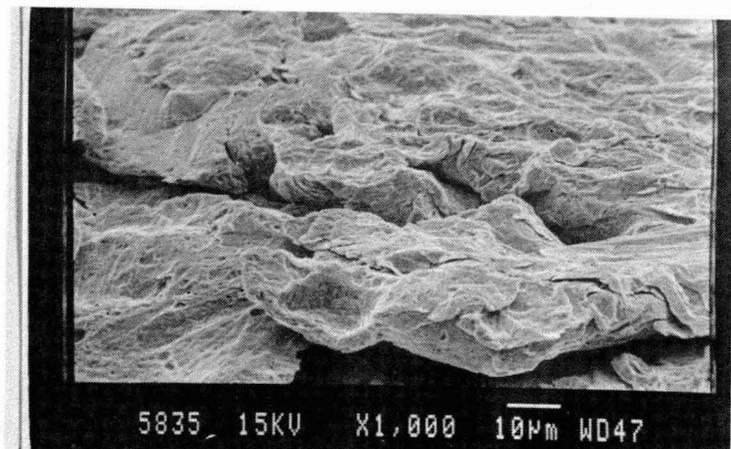


FIGURA 10

Ensaio de Índice de Abrasão com Hematita, ângulo da palheta de 15°. O mecanismo é de Impressão e regiões de Sulcamento. Aumento 300 X.

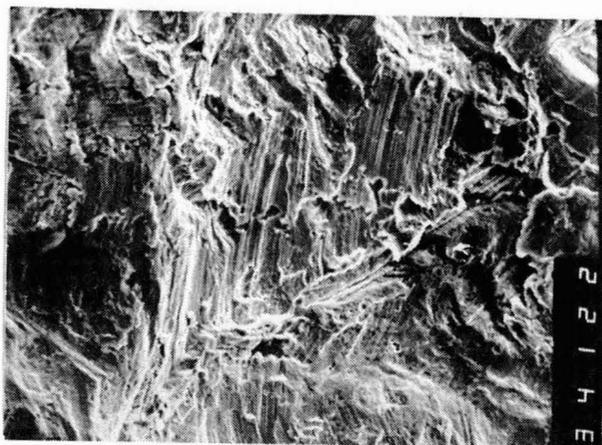
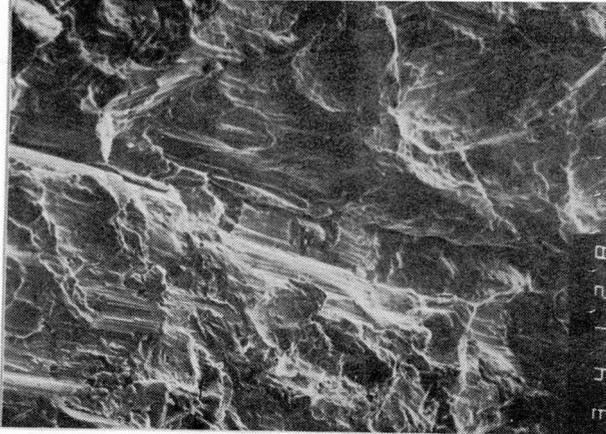


FIGURA 11

Ensaio de Índice de Abrasão com Hematita, ângulo da palheta de 45°. O mecanismo é de Sulcamento. Aumento 300 X.

FIGURA 12

Ensaio de Índice de Abrasão com Granito, ângulo da palheta de 15°. O mecanismo é de Sulcamento. Notou-se camadas sobrepostas. Aumento 300 X.

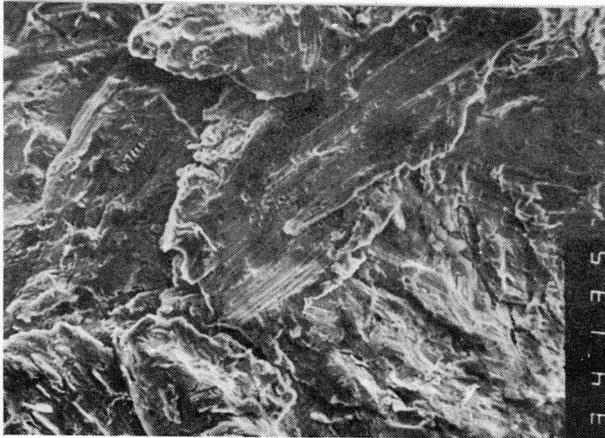


FIGURA 13

Ensaio de Índice de Abrasão com Granito, ângulo da palheta de 45°. O mecanismo é de Sulcamento. Observa-se algumas regiões onde ocorre o corte causado pelo quartzo do granito.

