

# O ENSAIO COM BRITADOR DE MANDÍBULAS LABORATORIAL NA PLANTA PILOTO DA METSO<sup>(1)</sup>

*Gilson Neves da Silva* <sup>(2)</sup>

*Wilson Obana* <sup>(3)</sup>

*Anderson Barbosa* <sup>(4)</sup>

## Resumo

Esse artigo visa mostrar os ensaios que são realizados na planta piloto de britagem da Metso, visando caracterizações que ajudem no desenvolvimento de ligas a serem usadas nas indústrias mineradoras e pedreiras. Para os resultados desse artigo, foram usadas ligas de diferentes composições químicas e propriedades mecânicas, como aço manganês Hadfield, ferro branco alto cromo e aços baixa liga. Como esse ensaio é comparativo, temos uma referência de comportamento dessas ligas em relação aos esforços envolvidos nesse tipo de ensaio, principalmente a abrasividade. O equipamento utilizado é um britador semi-industrial, onde foram britados cerca de 2.000 kg de granito para cada ensaio. O granito é um material bastante abrasivo. Os ensaios mostraram que o ferro branco alto cromo apresenta uma resistência ao desgaste abrasivo bem superior aos aços manganês Hadfield e aços baixa liga. Como sabemos que uma caracterização completa das respostas das ligas aos esforços envolvidos numa produção envolve vários ensaios de diferentes solicitações, logicamente os resultados obtidos nesses ensaios ajudam a se ter um direcionamento de aplicação das ligas quanto à abrasividade, mas nós também fazemos paralelamente outros ensaios de desgaste e também de impacto e tração; porém, esses outros ensaios não foram tratados nesse trabalho. Além disso, também fazemos em nossa fábrica ensaios com outros minérios com propriedades diferentes para a britagem, como hematita compacta e outros.

**Palavras-chave:** Mandíbulas; Abrasividade; Desgaste.

(1) 60º Congresso Annual da ABM - 25 a 28 de julho de 2.005 - Belo Horizonte - MG

(2) Engenheiro de Processos da Metso Minerals - Unidade Fundição (Faço III)

(3) Engenheiro de Aplicação de Produtos da Metso Minerals - Unidade Equipamentos (Faço II)

(4) Técnico de Processos da Metso Minerals - Unidade Fundição (Faço III)

## 1) INTRODUÇÃO

A fabricação de peças de desgaste (britadores, cones, mantas, etc) requer materiais cujas características são abrasão e resistência ao impacto.

Essas propriedades são antagônicas, ou seja, quando se aumenta a resistência ao impacto, a resistência à abrasão diminuirá.

O ensaio de britador de mandíbulas é um ensaio comparativo.

Colocam-se ligas diferentes para serem ensaiadas em relação à liga considerada padrão, cujo parâmetro de desgaste é considerado 100% ou 1.

As mandíbulas são pesadas antes e depois do teste para se determinar o desgaste, em massa. Calcula-se então um índice para desgaste das mandíbulas da liga padrão e das ligas testadas, o que dará uma idéia da resistência ao desgaste.

Na literatura, temos poucos trabalhos com esse tipo de ensaio.

Blickensderfer e colaboradores<sup>5</sup> consideram o britador de mandíbulas laboratorial como uma versão compacta do ensaio proposto pela ASTM G-81-83<sup>2</sup>, e que a quantidade de abrasivos para reprodutividade dos ensaios é de 90kg, diferentemente dos 908 kg sugeridos pela norma ASTM G-81-83<sup>2</sup>.

Entretanto, nem a norma e nem o trabalho de Blickensderfer<sup>5</sup> e colaboradores detalham o porque da escolha das referidas quantidades de abrasivo como ponto criterioso do ensaio.

A adoção de determinada quantidade para se fazer o ensaio depende então do desenvolvimento que se queira dar e a reprodutividade que se achar coerente com a aplicação.

Os resultados desses ensaios podem ser apresentados em função de taxas, ou seja, perda de massa das mandíbulas a cada intervalo de britagem pelo peso inicial de cada mandíbula. O movimento relativo entre o abrasivo e as mandíbulas é ilustrado na figura 1.

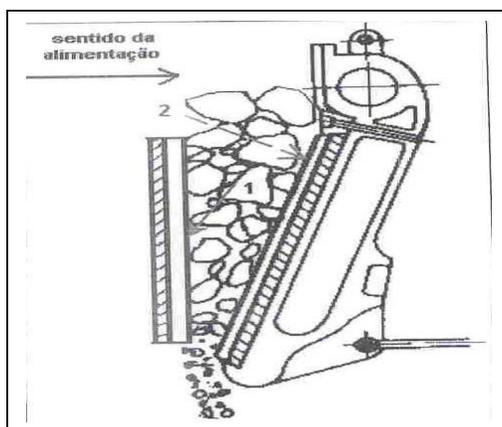


Figura 1 – Movimento relativo entre abrasivo e mandíbulas.

- 1) ângulo de incidência durante a compressão sobre mandíbula fixa e
- 2) sobre mandíbula móvel.

Como mostra a figura 1, o ângulo de incidência das partículas abrasivas sobre a superfície da mandíbula móvel está próximo de 90° e, portanto, os ângulos de ataque são baixos. Com a continuidade do ciclo de compressão, o abrasivo é forçado a deslizar contra a superfície da parte fixa, com um certo ângulo de ataque favorável, como detalhado na figura 2 (Avery<sup>4</sup>).

O deslizamento do material britado sobre as mandíbulas é responsável pela maior parcela do desgaste abrasivo, segundo Rotondaro<sup>11</sup>.

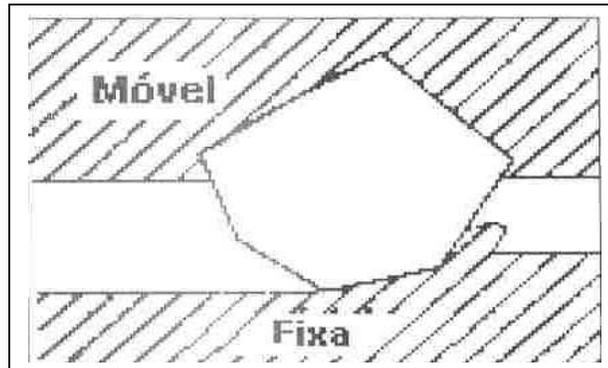


Figura 2 – Movimento do abrasivo sob compressão de mandíbulas.

Os aços manganês Hadfield (ASTM A-128), os aços baixa liga e os ferros brancos alto cromo, que são ligas resistentes ao desgaste abrasivo, requerem uma alta tenacidade juntamente com uma resistência à abrasão mais alta da liga.

A Metso, desde a época em que se chamava Faço, nome pelo qual a empresa é geralmente conhecida no mercado, sempre teve o desenvolvimento de ligas como um dos diferenciais técnicos e a pesquisa e desenvolvimento de novos materiais de forma contínua na Fundição.

De fato, uma liga para britagem com uma maior vida de desgaste pode proporcionar, segundo a Engenharia de Aplicação:

- menor custo por tonelagem britada;
- nos britadores, a câmara de britagem (espaço onde o minério ou rocha é britado dentro do britador) manterá seu perfil original por mais tempo;
- menos tempo perdido nas trocas de peças desgastadas.

### Descrição do Equipamento

Os ensaios de desgaste foram realizados em um britador de mandíbulas, de fabricação FAÇO, apresentado nas figura 3 e 4.

O equipamento possui um compartimento para os abrasivos com capacidade de 500 kg, quantidade esta alimentada por vez.



Figuras 3 e 4 –Britador de mandíbulas do laboratório da Faço II

Um detalhe do posicionamento das mandíbulas pode ser visto na fig. 5.  
A mandíbula fixa será denominada MF, e a móvel, MM.

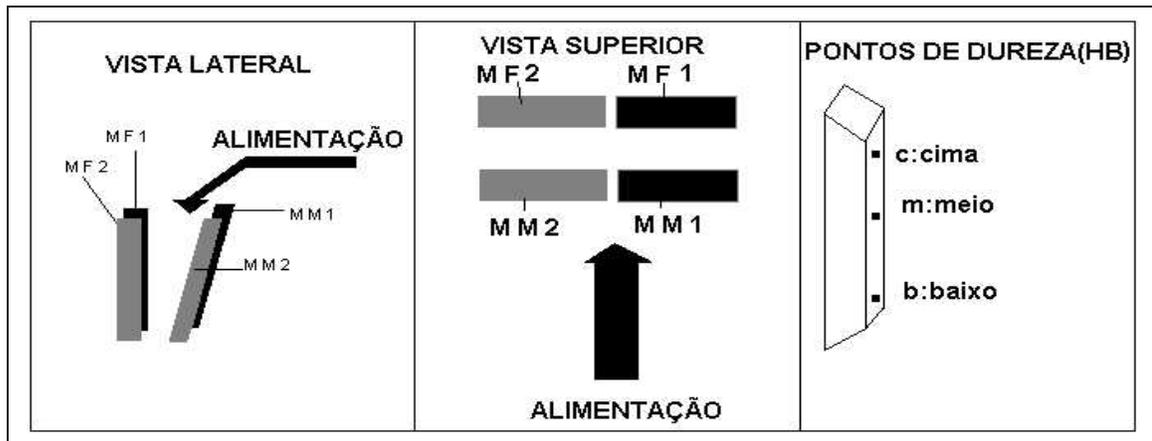


Figura 5 – detalhes dos posicionamentos das mandíbulas

Nas fotos 6 e 7, podemos ver o posicionamento das mandíbulas no britador.



Figura 6 e 7 – Posicionamento das mandíbulas móvel e fixa.

As posições entre mandíbulas mostradas nas figuras 6 e 7 possuem uma posição aberta e outra fechada, em função do movimento que a mandíbula móvel executa durante a compressão dos abrasivos.

Um esquema ilustrando os parâmetros do equipamento pode ser visto na fig. 8.

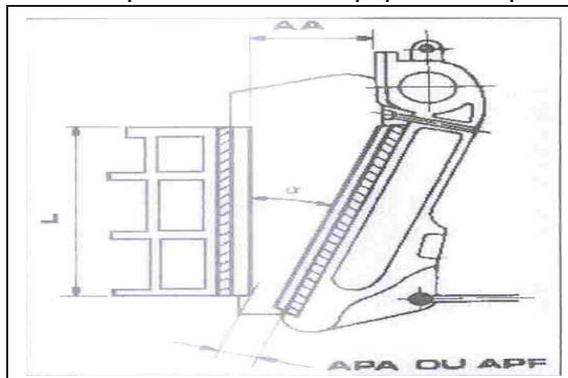


Figura 8 – Parâmetros do ensaio de britador de mandíbulas (Rotondaro<sup>11</sup>)

L = comprimento da câmara; AA= abertura de alimentação; APA = abertura de saída, posição aberta; APF = abertura de saída, posição fechada;  $\alpha$  = ângulo de esmagamento.

## Propriedades Físicas do Granito

Segundo a Engenharia de Aplicação da Metso, a microdureza característica do granito é de 1.350 HV, podendo ser maior ou menor em função dos seus minerais constituintes, o que pode ser explicado pela heterogeneidade deste minério, composto de 3 fases (quartzo, feldspato e mica), e pela possibilidade de interação entre os microconstituintes em relação à carga aplicada pelo penetrador.

Por exemplo, uma medida feita em quartzo cercado por mica é diferente de uma medida em quartzo cercado por feldspato.

Nos dois casos, há diferenças na forma em que o microconstituente é restringido e variações nas medidas são decorrentes deste tipo de interação.

## 2) MATERIAIS E MÉTODOS

### Elaboração dos Corpos de Prova (mandíbulas)

Foram utilizadas mandíbulas fundidas, com dimensões 135 x 75 x 25mm, com a composição química da tabela 1.

Estas análises foram realizadas por espectrometria, com exceção do carbono, analisado por combustão, conforme a tabela 1.

Tabela 1: composição química das ligas

	%C	%Mn	%Si	%Mo	%Cr	%P	%Ni	%S
Aço Mn-A	1,19	12,31	0,64	0,02	0,30	0,042	0,06	0,008
Aço Mn-C	1,23	12,05	0,68	0,03	1,75	0,048	0,08	0,005
Aço baixa liga 1	0,30	0,90	0,80	0,60	3,00	0,025	0,25	0,020
Aço baixa liga 2	0,60	1,00	0,40	0,10	1,50	0,060	1,00	0,020
Liga FBAC	3,20	1,00	1,00	0,80	19,00	0,090	0,50	0,040

Foram usados moldes de areia aglomerada com resina de cura a frio (pepset).



Figura 9 – moldes preparados para confecção das mandíbulas



Figura 10 – tratamento térmico

As mandíbulas foram posteriormente tratadas, conforme pode ser visto na figura 10, sendo que os tratamentos térmicos das mandíbulas seguiram os ciclos estabelecidos na produção normal da fábrica.

Após o tratamento térmico, as mandíbulas foram usinadas para poder se efetuar os ensaios, como pode ser visto nas figuras 11, que mostra a vista lateral, evidenciando a espessura, e a figura 12, que mostra a superfície usinada.



Figuras 11 – vista lateral (espessura)



Figura 12 – superfície de trabalho (desgaste)

### Caracterização do Abrasivo

O abrasivo utilizado foi granito, fornecido pela Pedreira Cantareira – SP, sendo que sua constituição mineralógica é apresentada na tabela 4.6.

A tabela 2 mostra a distribuição granulométrica do abrasivo empregado na alimentação e a figura 14 apresenta a curva granulométrica do produto.

Tabela 2 – Brita Grossa – Alimentação

Tamanho (mm)	% Massa retida	% Retida Acumulada	% Passante
25,40	0	0	100
19,10	7,2	7,2	92,8
12,70	87,7	94,9	5,1
12,00	5,1	100	0,0

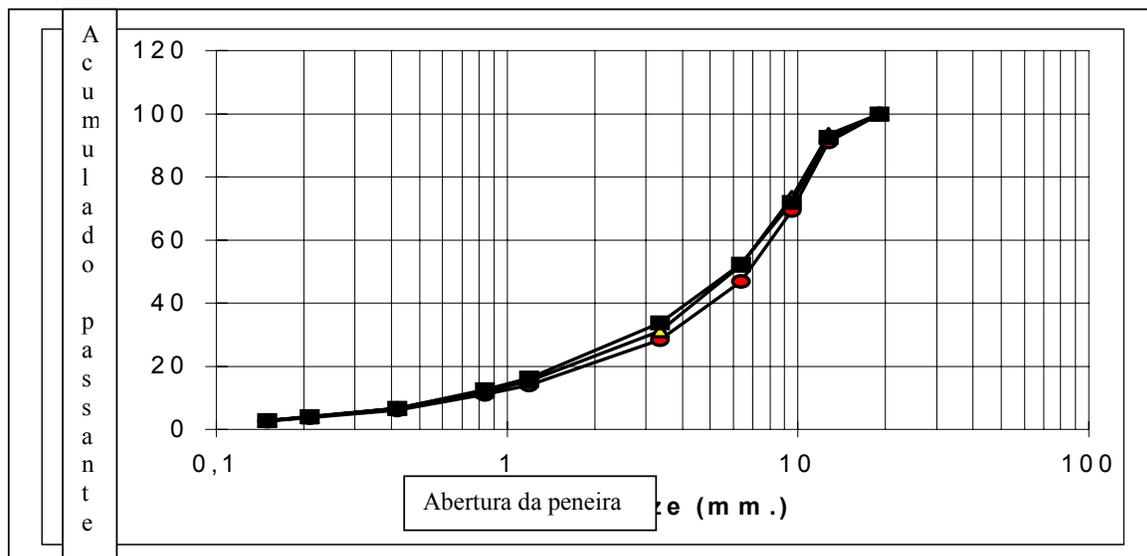


Figura 13 - curva granulométrica do produto

Os abrasivos foram caracterizados pela empresa fornecedora (tabela 3).

Tabela 3 – Constituintes Minerais de Granito  
Dados fornecidos por Embu S/A Engenharia e Comércio

Constituinte	Quartzo	Feldespato microclínico	Plagioclásio	Micas	Outros
Fração volumétrica (%)	17,9	23,1	24,4	17,7	6,9
Microdureza Vickers (HV) típica	2012	1206-1288		64	

A granulometria fornecida foi “Brita Tipo 1”, com a granulometria situada entre malhas de  $\frac{3}{4}$  e  $\frac{1}{2}$ ”. De forma a obter-se um material com granulometria mais concentrada, arbitrou-se a malha  $\frac{1}{2}$ ” como diferencial de granulometria, sendo o produto abaixo da mesma designado como “Brita Fina” (BF), que foi descartada e acima como “Brita Grossa” (BG), que foi usada nos ensaios e que pode ser vista na figura 14.



Figura 14 – Granulometria de alimentação Brita Grossa (BG)

Após os ensaios de britagem, com uma abertura de 6 mm entre as mandíbulas na posição fechada, obtivemos um material que se caracterizava por uma concentração de cerca de 70% nas peneiras de  $\frac{3}{8}$ ” (9 mm),  $\frac{1}{4}$ ” (6 mm) e 4,76 mm. A figura 15 mostra esse material.



Figura 15 – Granulometria do produto britado

## Ensaio de mandíbulas

A liga da ASTM A-128 – grau A foi usada como referência para os testes com os pares de mandíbulas das ligas estudadas, pois os resultados podem ser melhor comparados, já que a Metso possui um banco de dados bastante representativo para as ligas de aço manganês.

Para cada ciclo, foram usados 3 lotes de 700 kg, totalizando 2.100 kg de granito para cada par de mandíbulas. As cargas de granito foram determinadas em uma balança com capacidade máxima de 1.000 kg no Laboratório de Britagem da Metso.

As perdas de massa e as taxas de desgaste foram calculadas em cima dos lotes individuais e no ensaio total. A perda de massa das mandíbulas foi determinada em balança eletrônica com precisão de 0,01 g. Para não termos de analisar outros fatores que influenciam o ensaio, a alimentação do abrasivo teve uma granulometria constante, conforme comentado anteriormente, de  $\frac{3}{4}$  a  $\frac{1}{2}$ ". Outro fator mantido constante foi a abertura entre as mandíbulas, no valor de 6 mm.

Nos quadros a seguir, foram colocados os seguintes valores:

- M0: massa inicial de cada mandíbula (gramas);
- M700, M1400, M2100: massa após cada ciclo de 700, 1.400 e 2.100 kg de granito britado; (gramas);
- perda de massa após cada ciclo (g x 1.000);
- perda de massa acumulada = somatório das perdas de massa após cada ciclo (gramas x 1.000);
- taxa de desgaste = perda de massa (g) / massa britada (kg) = (1.000 x g/kg);
- perda de massa relativa = perda de massa/massa inicial (%);
- taxa de desgaste relativa = taxa de desgaste / massa inicial (%);

A seguir, são apresentados alguns dados obtidos para a liga padrão.

Para todas as mandíbulas, foram realizadas medições idênticas de perda de massa e desgaste.

Tabela 4 – Aço ASTM A128 - GRAU A

MANDIBULA MOVEL				
	M0	M700	M1400	M2100
Massa (g)	801,22	800,31	798,35	796,52
Perda (g)		910	1.960	1.830
Acumulado (g)		910	2870	4.700
Tx. Desg. (g/kg)		33,3	32,7	30,5
Perda relat. (%)		0,11	0,23	0,22
Taxa relat (%)		0,042	0,040	0,038

Para se ter a comparação entre as ligas em termos de Fator de Vida, foram calculadas as relações entre os parâmetros obtidos para as ligas estudadas e aqueles da liga padrão.

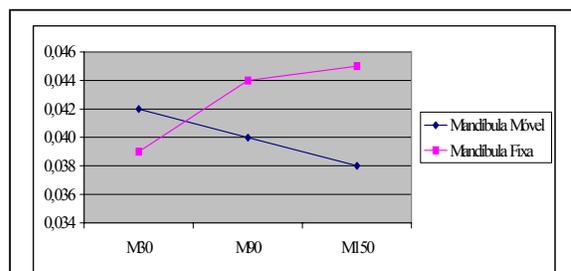


Figura 16 - Taxa Relativa Aço Hadfield - GRAU A

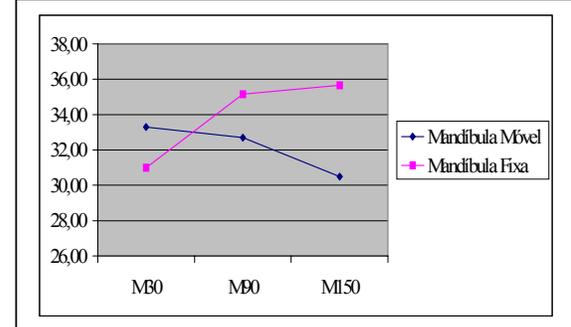


Figura 17 - Taxa de Desgaste Aço Hadfield - GRAU A

$$\text{fator de vida} = \frac{\text{taxa de desgaste da liga padrão}}{\text{taxa de desgaste da liga testada}}$$

A tabela seguinte mostra como ficaram os resultados comparativos.

LIGA	SOBREVIDA	DESVIO PADRÃO
Aço Mn-A	1,00	0,054
Aço Mn-C	1,40	0,256
Aço baixa liga 1	1,10	0,163
Aço baixa liga 2	1,20	0,237
Ferro FBAC	2,50	0,134

Média de 10 corridas para cada liga.

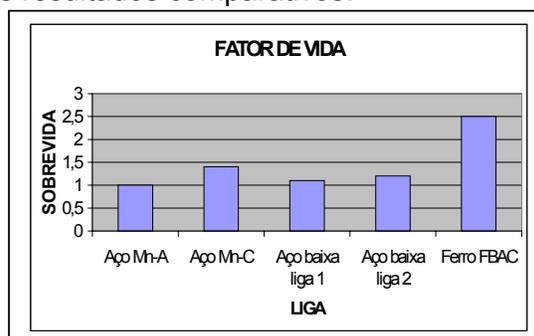


Figura 18 - resultado dos ensaios

### **3) DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Pela figura 18, podemos concluir, através do ensaio de mandíbulas da Metso, que o ferro branco alto cromo (ASTM A 352) tem a maior resistência ao desgaste para esse ensaio, onde o caráter abrasivo é fundamental.

Comparando-se apenas os aços manganês do tipo Hadfield, podemos concluir que o teor de cromo maior da liga ASTM A 128 – grau C contribui para o melhor desempenho dessa liga em relação à padrão ASTM A128 – grau A.

Os aços baixa liga utilizados nesses testes mostraram uma performance semelhante à liga padrão utilizada, com uma diferença próxima de 10%.

### **4) CONCLUSÕES**

Esse ensaio de mandíbulas caracteriza as ligas quanto ao comportamento abrasivo, indicando como elas tenderão a se comportar na prática, servindo de referência para as peças de desgaste.

Porém, não podemos nos esquecer de que se trata de um ensaio que leva em conta apenas alguns esforços encontrados na indústria.

Por exemplo, um fator relevante é a resistência ao impacto, que não está presente nesse tipo de ensaio. Notadamente, o ferro branco alto cromo possui uma baixíssima resistência ao impacto, o que o inviabiliza para algumas aplicações.

O que se quer deixar claro aqui é que devem ser feitos vários ensaios para se ter completa caracterização de cada liga e, com isso, poder determinar as suas aplicações práticas tirando o máximo proveito de cada composição química, estrutura metalográfica e propriedades mecânicas.

### **5) AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, à minha família pelo apoio de sempre, à estrutura da Metso pela oportunidade de desenvolvimento e a Wilson Obana e Anderson Barbosa pelo envolvimento e empenho no trabalho, sem os quais ele não sairia.

## **5) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1) Albertin, e.; Ambrósio Filho, F.; Fuoco, R., Goldestein, H. e Sinátora A. – Ferros fundidos brancos resistentes ao desgaste abrasivo, III Congresso Brasileiro de Fundição, outubro, 1985. São Paulo – SP.
- 2) American Society for Testing Materiais. Standard practice for jaw crusher gouging abrasion test (G 81-83). In: 1986 annual book of ASTM Standards: metals tests methods and analytical procedures. Philadelphia, Pa., 1986. V. 03.02, p.481-9. B.M. (1994),
- 3) A.S.M. Metals Handbook. Austenitic manganese steel. 9<sup>th</sup> ed. Vol . 3., 1980, p. 568.
- 4) Avery, H.S. The measurement of wear resistance. Wear, 4 (6): 427-49, 1961.
- 5) Blickensderfer, R. Design criteria and correlations factors for field wear testing, Wear, 122, 1988, pp. 165-182.
- 6) Borik, F.; Sponseller, D.L. Gouging abrasion test for materials used in ore and rock crushing, Part I – Description of test, Journal of Materials, 6, 1971, pp. 590-605;
- 7) Gillet, H. W., Considerations involved in the wear testing of metals. ASTM. Paper, from symposium of wear of metals, Phila, 1937.
- 8) Larsen-Basse, J., The abrasion resistance of some hardened and tempered carbon steels, Trans. AIME, v.236, 1966, p.1461,6.
- 9) Norma ASTM G81-83(89), Practice for Jaw Crusher Gouging Abrasion Test, In: Annual Book of Standards, V. 03.02, ASTM, 1992, pp. 332-7.
- 10) Norman, T. W. Wear resistant steel castings for the mining industry. Climax Molybdenium CO. NEW YORK CITY.1956.
- 11) Rotondaro, R.G. Mecanismos de Desgaste Abrasivo. 125 p., Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1988.

## **Abstract**

This report aims to show the tests in laboratory of crushing of the Metso, with characterisation to help in the development of alloys used in the mining industry. It was used several alloys of different chemical composition and mechanical properties, as Hadfield manganese steel, low alloy steel and high chromium cast iron. As this crushing test is comparative, we have a reference of behavior of these alloys in relation to the evolved efforts in this kind of test, mainly the abrasivity. The equipment is a semi-industry crusher and we have crushed over 2.000 kg of granite for each test. The granite is a very abrasive material. The tests showed that the high chromium cast iron presents a wear resistance much higher than the others alloys. We know that a complete characterisation of the alloys in relation to the efforts in a production evolves several tests. The obtained results help us to guide the applications for abrasion, but we have also done others tests, as impact and tensile; these later tests weren't treated in this report. Besides we have also done tests with others ores, as compact hematite, with different crushing properties.

**Key-words:** jaw crusher, abrasion, wear.