

Ensaio Mecânico de Pelotas.

Verificação da Resistência à Compressão

MARC ANDRÉ MEYERS⁽¹⁾
PEDRO PAULO MEYERS⁽²⁾

São apresentados dois métodos melhorados para verificar a resistência à compressão de pelotas. O primeiro consiste em comprimi-las entre duas placas com três esferas cada, reproduzindo com mais fidelidade o ambiente real encontrado por elas (pelotas circundadas por pelotas). O segundo consiste em encher um cilindro com pelotas, submetendo-as depois, a uma compressão através de um pistão; o resultado é apresentado através de uma curva tensão versus deformação que descreve seu comportamento quanto à resistência à compressão. Esse método é melhor reproduzível, mais simples e exato do que o convencional.

1. INTRODUÇÃO

O ensaio convencional para determinar a resistência à compressão, descrito pela International Standards Organization⁽¹⁾ consiste em colocar uma pelota entre duas placas paralelas e em comprimi-la a uma taxa especificada (10 mm/min) até que ocorra a ruptura. Sabendo-se que a resistência das pelotas varia com seu tamanho, escolhe-se uma faixa de tamanhos igual à média, ± 3 mm. Devido à grande variação na resistência compressiva entre diferentes pelotas, o número a ser ensaiado é dado por:

$$n = \left(\frac{2\sigma_p}{\beta} \right)^2$$

onde n é o número de pelotas, β é a precisão pré-fixada, σ_p é o desvio padrão entre as pelotas de uma amostra de minério. Como é grande a variação de resultados obtidos com esse ensaio⁽²⁾ e como ele não reproduz adequadamente as diversas forças que agem sobre uma pelota em seu ambiente real, propõem-se dois métodos novos para determinar a resistência à compressão.

2. MÉTODO DE SEIS ESFERAS

O ensaio convencional de compressão, que consiste em comprimir

uma pelota entre duas placas paralelas, não reproduz muito bem o ambiente real encontrado pela pelota, como por exemplo, numa pilha ou dentro de um forno. Nesse ambiente cada pelota é cercada por várias pelotas e os pontos de contato entre essa pelota e as outras não são apenas dois como infere o modelo convencional, mas vários. A forma mais compacta em que esferas podem ser acondicionadas é a hexagonal compacta e cúbica de faces centradas; os planos mais compactos são empilhados em seqüências AB AB e ABC ABC, respectivamente. A última seqüência de empilhamento foi escolhida como representativa do acondicionamento de pelotas.

superior não foram colocadas verticalmente acima das esferas inferiores. A figura 2 mostra os resultados de força de fratura versus área da seção transversal. A inclinação da reta foi obtida por regressão linear e o seu ponto de intercepção com o eixo de força é maior do que os obtidos com o ensaio convencional⁽²⁾. Entretanto, não houve melhoria na dispersão dos valores e conseqüentemente o aumento do número de pontos de contato de dois para seis não melhorou os resultados. A única afirmação que se pode fazer é que a pelota é aproximadamente 30% mais resistente em seu ambiente real (ensaio de seis esferas) do que no ensaio convencional.

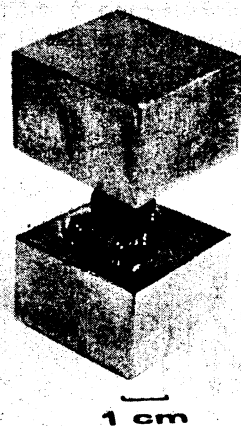


Fig. 1 - Sistema melhorado para verificar a resistência mecânica em pelotas; composto de três esferas inseridas em cada placa.

Para simular esse modelo duas placas foram usinadas e três esferas de aço foram inseridas em cada placa (Fig. 1). Para melhor simular a seqüência de empilhamento ABC as esferas da placa

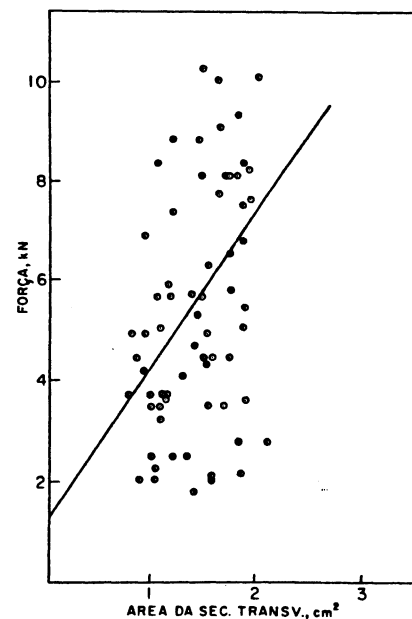


Fig. 2 - Força de fratura versus área de seção transversal de pelotas, utilizando método de seis esferas; reta obtida por regressão linear.

Contribuição Técnica nº 1713. Apresentada ao XXXVII Congresso Anual da ABM; Rio de Janeiro RJ; julho de 1982.

- (1) Membro da ABM. Engenheiro; M.Sc. e Ph.D.; Professor Adjunto do New Mexico Institute of Mining and Technology; Socorro. N.M.; EUA.
- (2) Membro da ABM. Engenheiro; M.Sc.; Chefe de Departamento de Controle de Qualidade e Pesquisa da Samarco Mineração S.A.; Anchieta ES.



Fig. 3 — Pelota fraturada após ensaio de seis esferas.

A carga aplicada durante os ensaios com seis esferas foi aumentada até a desintegração parcial da pelota como mostra a figura 3. As curvas de força versus deslocamento resultante são mostradas na figura 4. Devido ao fato de a força de fratura — primeiro pico das curvas força versus deslocamento — ter variado tanto, pensou-se que a energia absorvida durante o processo de esmagamento fosse uma melhor medida da resistência de uma pelota. Esta energia é a área abaixo das curvas da figura 4, que mostra três tipos de comportamento de pelotas com respeito à fratura. Pelotas do tipo A apresentam força de fratura mais alta do que no restante da curva; pelotas do tipo B, após uma queda inicial, recuperam sua resistência a nível aproximadamente igual à original.

Pelotas do tipo C apresentam uma resistência superior após certa deformação. Estes três tipos de comportamento mostram que a força de fratura não é representativa da resistência total de uma pelota.

A figura 5 mostra a energia absorvida por uma pelota durante a compressão em função da área de sua seção transversal. A dispersão de resultados continua alta como na figura 2 e no gráfico do ensaio convencional⁽²⁾.

Apesar de o ensaio com seis esferas apresentar limitações similares às do ensaio convencional, é fundamentalmente mais significativo, pois simula melhor as condições reais encontradas pelas pelotas.

3. MÉTODO DE CILINDRO E PISTÃO

Para sanar as falhas inerentes aos métodos convencional e de seis esferas foi desenvolvido outro tipo de equipamento que consiste em um cilindro com um pistão (Fig. 6). O cilindro usado nos ensaios tinha altura de 30,5 cm e diâmetro interno de 6,35 cm e as pelotas foram carregadas até uma altura de 12,7 cm. Após o carregamento com pelotas, o pistão foi comprimido em máquina com velocidade de 2 cm/min. O curso do pistão foi medido por um transdutor localizado na parte superior do pistão. A carga e o deslocamento foram alimentados em um registrador X-Y. A duração do ensaio foi de aproximadamente 15 min.

O principal objetivo foi obter um parâmetro que descrevesse satisfatoriamente a resistência à compressão de uma batelada de pelotas através de um

ensaio simples e reproduzível. A figura 7 mostra vários tipos de curvas tensão versus deformação que se espera obter com bateladas de pelotas de diferentes resistências. A tensão é calculada dividindo-se a carga pela área da seção transversal do pistão; a deformação é obtida dividindo-se o deslocamento dL pela altura inicial da carga de pelotas. A medida que o pistão desce as pelotas são esmagadas e uma carga progressivamente mais alta é aplicada. Como é usada grande quantidade de pelotas, no ensaio as variações individuais na resistência de cada pelota serão anuladas e o resultado, como era de se esperar, é uma curva suave.

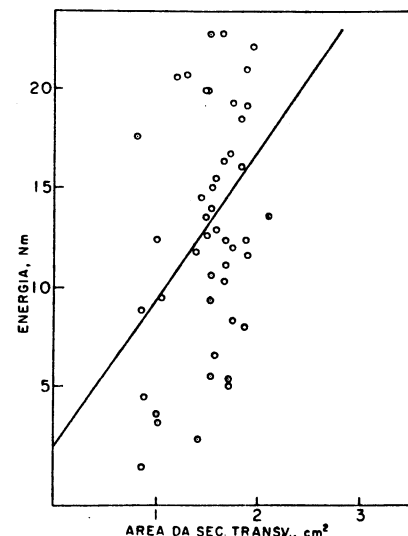


Fig. 5 — Energia absorvida durante o processo de esmagamento versus área de seção transversal, utilizando modelo de seis esferas; reta obtida por regressão linear.

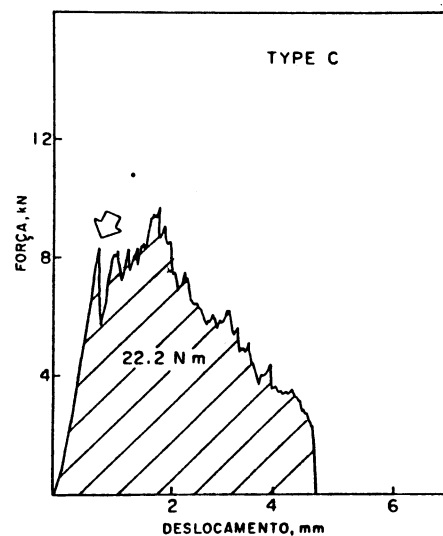
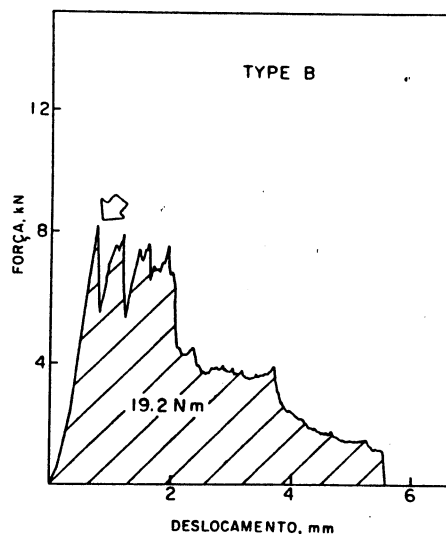
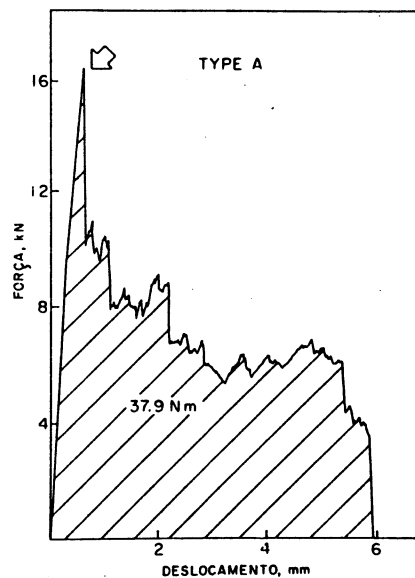
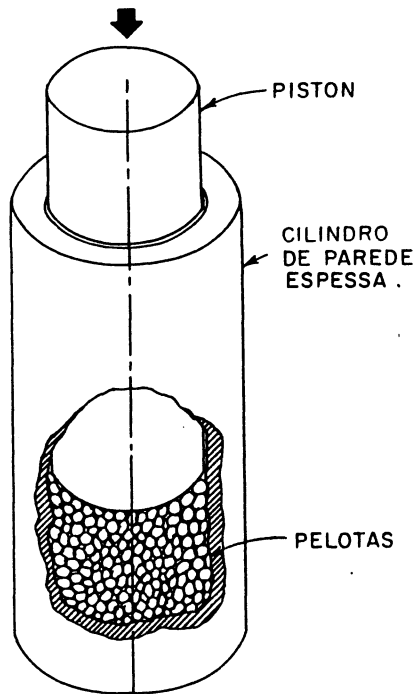


Fig. 4 — Gráfico de força versus deslocamento no ensaio de seis esferas. As curvas estão classificadas em A, B e C, de acordo com a força de fratura maior, igual ou menor do que as forças subsequentes.



A curva tensão versus deformação deverá aproximar-se assintoticamente do limite elástico para pelotas totalmente esmagadas. A deformação total pode ser calculada para esse caso limite; supondo-se que o peso específico teórico de uma pelota seja $3,8 \text{ g/cm}^3$ e que seu peso específico aparente seja 2 g/cm^3 , se dividirmos este valor pelo peso específico teórico, obteremos 0,5. Portanto, o esmagamento final será obtido a uma deformação de 0,5. A essa deformação as curvas devem aproximar-se do módulo de elasticidade da hematita. Como esse valor só é obtido a tensões muito altas, uma certa deformação foi arbitrariamente escolhida. A área abaixo das diferentes curvas representa a energia necessária para esmagar pelotas até deformações arbitrariamente escolhidas e é uma medida satisfatória da resistência à compressão de pelotas.

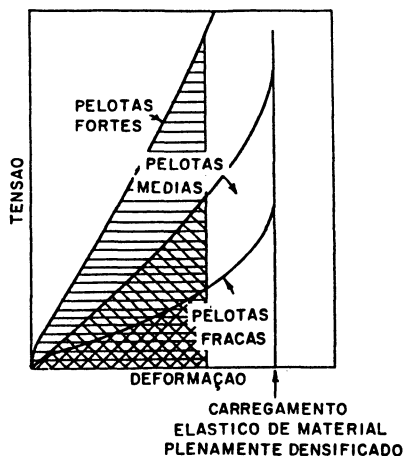


Fig. 7 — Representação esquemática de tensão versus deformação para pelotas fortes, médias e fracas, utilizando-se ensaio de cilindro e pistão.

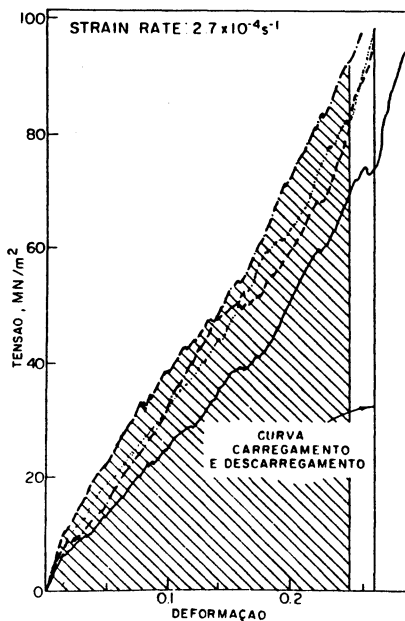


Fig. 8 — Curvas tensão versus deformação para quatro ensaios, usando o método de cilindro e pistão.

A aplicação desse conceito a pelotas está representada na figura 8 que mostra quatro ensaios individuais. As energias absorvidas até a deformação de 0,25 foram medidas pelas áreas abaixo das curvas: a média foi 3128 Nm e o desvio padrão, 651 Nm. A variação desse parâmetro, de ensaio para ensaio, é muito menor do que a variação encontrada nos ensaios convencionais e de seis esferas. Portanto, esse novo método, após padronização adequada, poderá descrever de forma simples e reproduzível o comportamento de pelotas com respeito à resistência à compressão.

4. CONCLUSÃO

O método de seis esferas reproduz com mais fidelidade o ambiente real encontrado por pelotas; as cargas de fratura obtidas foram superiores às aquelas do ensaio convencional, com a vantagem de o processo de fratura ser progressivo e não catastrófico como naquele; entretanto, apresentou grande dispersão de valores obtidos como o ensaio convencional.

No método de cilindro e pistão grande quantidade de pelotas é esmagada em um único ensaio e o resultado, apresentado em uma curva tensão versus deformação, descreve satisfatoriamente o comportamento das pelotas com respeito à resistência à compressão. Esse método é melhor reproduzível, mais simples e exato do que o convencional.

BIBLIOGRAFIA

1. ISO/TO 102/SC 3 283E — ISO Proposal: A Method for Determination of Crushing Strength, fev. 1974.
2. MEYERS, P.P. & MEYERS, M.A. — Metalurgia-ABM, v. 37, set. 1981, nº 286, p. 501-6.

Redução de Minério de Ferro em Alto-Forno

- Uma iniciativa da COMIN — CT de Redução de Minérios de Ferro.
- 650 páginas de documentação atualizada, especialmente preparada pelos Profs. Álvaro Lúcio, Benoni Torres, José de Matos, Rubens Corrêa da Silveira e Vicente Falconi Campos.
- Coordenação e complementação do Engº Marcus Jurandir de Araujo Tambasco.

Preço: Cr\$ 6.200

Para sócios da ABM: Cr\$ 4.300