

# Dureza Brinell

**A**o escrever a lápis ou lapiseira, você sente com facilidade a diferença entre uma grafite macia, que desliza suavemente sobre o papel, e uma grafite dura, que deixa o papel marcado.

Entretanto, a dureza de um material é um conceito relativamente complexo de definir, originando diversas interpretações.

Num bom dicionário, você encontra que dureza é “qualidade ou estado de duro, rijeza”. Duro, por sua vez, é definido como “difícil de penetrar ou de riscar, consistente, sólido”.

Essas definições não caracterizam o que é dureza para todas as situações, pois ela assume um significado diferente conforme o contexto em que é empregada:

- Na área da **metalurgia**, considera-se dureza como a **resistência à deformação plástica permanente**. Isso porque uma grande parte da metalurgia consiste em deformar plasticamente os metais.
- Na área da **mecânica**, é a **resistência à penetração de um material duro no outro**, pois esta é uma característica que pode ser facilmente medida.
- Para um **projetista**, é uma **base de medida**, que serve para conhecer a resistência mecânica e o efeito do tratamento térmico ou mecânico em um metal. Além disso, permite avaliar a resistência do material ao desgaste.
- Para um **técnico em usinagem**, é a **resistência ao corte do metal**, pois este profissional atua com corte de metais, e a maior ou menor dificuldade de usinar um metal é caracterizada como maior ou menor dureza.
- Para um mineralogista é a resistência ao risco que um material pode produzir em outro. E esse é um dos critérios usados para classificar minerais.

Ou seja, a dureza não é uma propriedade absoluta. Só tem sentido falar em dureza quando se comparam materiais, isto é, só existe um material duro se houver outro mole.

## Introdução

É importante destacar que, apesar das diversas definições, um material com grande resistência à deformação plástica permanente também terá alta resistência ao desgaste, alta resistência ao corte e será difícil de ser riscado, ou seja, será duro em qualquer uma dessas situações.

Nesta aula você vai conhecer um dos métodos de ensaio de dureza mais amplamente utilizados: o ensaio de dureza Brinell. Saberá quais são suas vantagens e limitações e como é calculada a dureza de um material a partir deste tipo de ensaio.

Vai ser duro? Nem tanto! Estude com atenção e faça os exercícios sugeridos.

## Nossa aula

### Avaliação da dureza: como tudo começou

Há registros de que no século XVII já se avaliava a dureza de pedras preciosas, esfregando-as com uma lima.

No século XVIII desenvolveu-se um método para determinar a dureza do aço, riscando-o com minerais diferentes.

Mas o primeiro método padronizado de ensaio de dureza do qual se tem notícia, baseado no processo de riscagem, foi desenvolvido por Mohs, em 1822.

Este método deu origem à escala de dureza Mohs, que apresenta dez minérios-padrões, ordenados numa escala crescente do grau 1 ao 10, de acordo com sua capacidade de riscar ou ser riscado.

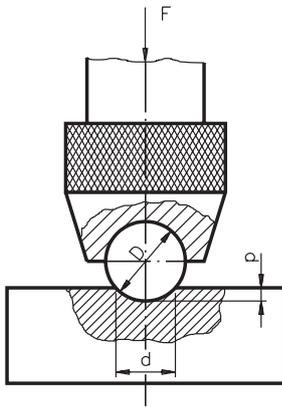
#### Curiosidade Escala Mohs (1822)

1	– Talco
2	– Gipsita
3	– Calcita
4	– Fluorita
5	– Apatita
6	– Feldspato (ortóssio)
7	– Quartzo
8	– Topázio
9	– Safira e corindo
10	– Diamante

Esta escala não é conveniente para os metais, porque a maioria deles apresenta durezas Mohs 4 e 8, e pequenas diferenças de dureza não são acusadas por este método. Por exemplo, um aço dúctil corresponde a uma dureza de 6 Mohs, a mesma dureza Mohs de um aço temperado.

As limitações da escala Mohs levaram ao desenvolvimento de outros métodos de determinação de dureza, mais condizentes com o controle do aço e de outros metais. Um deles é o ensaio de dureza Brinell, que você vai estudar a seguir.

Em 1900, **J. A. Brinell** divulgou este ensaio, que passou a ser largamente aceito e padronizado, devido à relação existente entre os valores obtidos no ensaio e os resultados de resistência à tração.



O ensaio de dureza Brinell consiste em comprimir lentamente uma esfera de aço temperado, de diâmetro  $D$ , sobre uma superfície plana, polida e limpa de um metal, por meio de uma carga  $F$ , durante um tempo  $t$ , produzindo uma calota esférica de diâmetro  $d$ .

A dureza Brinell é representada pelas letras HB. Esta representação vem do inglês *Hardness Brinell*, que quer dizer “dureza Brinell”.

A dureza Brinell (HB) é a relação entre a carga aplicada ( $F$ ) e a área da calota esférica impressa no material ensaiado ( $A_c$ ).

Em linguagem matemática: 
$$HB = \frac{F}{A_c}$$

A área da calota esférica é dada pela fórmula:  $\pi Dp$ , onde  $p$  é a profundidade da calota.

Substituindo  $A_c$  pela fórmula para cálculo da área da calota, temos:

$$HB = \frac{F}{\pi Dp}$$

Devido à dificuldade técnica de medição da profundidade ( $p$ ), que é um valor muito pequeno, utiliza-se uma relação matemática entre a profundidade ( $p$ ) e o diâmetro da calota ( $d$ ) para chegar à fórmula matemática que permite o cálculo da dureza HB, representada a seguir:

$$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Acompanhe um exemplo de aplicação desta fórmula:

- Uma amostra foi submetida a um ensaio de dureza Brinell no qual se usou uma esfera de 2,5 mm de diâmetro e aplicou-se uma carga de 187,5 kgf. As medidas dos diâmetros de impressão foram de 1 mm. Qual a dureza do material ensaiado?

Uma vez que todos os valores necessários para calcular a dureza HB são conhecidos, podemos partir diretamente para a aplicação da fórmula:

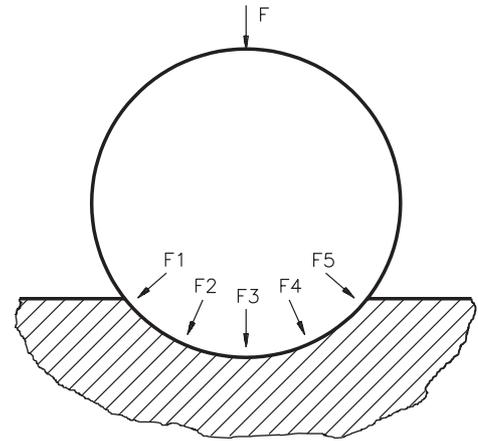
$$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \Rightarrow HB = \frac{2 \times 187,5}{\pi \times 2,5 (2,5 - \sqrt{2,5^2 - 1^2})} \Rightarrow$$

$$HB = \frac{375}{3,14 \times 2,5 (2,5 - \sqrt{6,25 - 1})} \Rightarrow HB = \frac{375}{7,85 (2,5 - 2,29)} \Rightarrow$$

$$HB = \frac{375}{7,85 \times 0,21} \Rightarrow HB = \frac{375}{1,6485} \Rightarrow HB = 227$$

A unidade  $\text{kgf}/\text{mm}^2$ , que deveria ser sempre colocada após o valor de HB, é omitida, uma vez que a dureza Brinell não é um conceito físico satisfatório, pois a força aplicada no material tem valores diferentes em cada ponto da calota.

Os cálculos anteriores são dispensáveis, se você dispuser de uma tabela apropriada.



Veja a seguir um exemplo de tabela que fornece os valores de dureza Brinell normal, em função de um diâmetro de impressão **d**.

DUREZA BRINELL EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DA IMPRESSÃO (DIÂMETRO DA ESFERA DO PENETRADOR: 10 MM)			
d (mm)	HB (F = 3000 kgf)	d (mm)	HB (F = 3000 kgf)
2,75	(495)	4,05	223
2,80	(477)	4,10	217
2,85	(461)	4,15	212
2,90	444	4,20	207
2,95	429	4,25	201
3,00	415	4,30	197
3,05	401	4,35	192
3,10	388	4,40	187
3,15	375	4,45	183
3,20	363	4,50	179
3,25	352	4,55	174
3,30	341	4,60	170
3,35	331	4,65	167
3,40	321	4,70	163
3,45	311	4,75	159
3,50	302	4,80	156
3,55	293	4,85	152
3,60	285	4,90	149
3,65	277	4,95	146
3,70	269	5,00	143
3,75	262	5,10	137
3,80	255	5,20	131
3,85	248	5,30	126
3,90	241	5,40	121
3,95	235	5,50	116
4,00	229	5,60	111

Os valores indicados entre parênteses são somente referenciais, pois estão além da faixa normal do ensaio Brinell.

## Verificando o entendimento

Tente localizar na tabela da página anterior o valor de dureza para um material que deixou um diâmetro de impressão de 3,55 mm.

Resposta: .....

Para encontrar o valor de HB solicitado você deve ter procurado na primeira coluna da tabela a linha correspondente ao valor de diâmetro de impressão 3,55 mm. Este valor está associado à dureza HB 293, que aparece na mesma linha, na segunda coluna.

É possível que os valores de dureza encontrados por cálculos, com aplicação da fórmula matemática, apresentem pequenas diferenças em relação aos valores correspondentes encontrados em tabelas. Não se preocupe. Essas diferenças se devem aos arredondamentos utilizados nos cálculos.

## Escolha das condições de ensaio

O ensaio padronizado, proposto por Brinell, é realizado com carga de 3.000 kgf e esfera de 10 mm de diâmetro, de aço temperado.

Porém, usando cargas e esferas diferentes, é possível chegar ao mesmo valor de dureza, desde que se observem algumas condições:

- A carga será determinada de tal modo que o diâmetro de impressão  $d$  se situe no intervalo de 0,25 a 0,5 do diâmetro da esfera  $D$ . A impressão será considerada ideal se o valor de  $d$  ficar na média entre os dois valores anteriores, ou seja, 0,375 mm.
- Para obter um diâmetro de impressão dentro do intervalo citado no item anterior, deve-se manter constante a relação entre a carga ( $F$ ) e o diâmetro ao quadrado da esfera do penetrador ( $D^2$ ), ou seja, a relação

$\frac{F}{D^2}$  é igual a uma constante chamada **fator de carga**.

Para padronizar o ensaio, foram fixados valores de fatores de carga de acordo com a faixa de dureza e o tipo de material. O quadro a seguir mostra os principais fatores de carga utilizados e respectivas faixas de dureza e indicações.

$\frac{F}{D^2}$	DUREZA	MATERIAIS
30	90 a 415 HB	Aços e ferros fundidos
10	30 a 140 HB	Cobre, alumínio e suas ligas mais duras
5	15 a 70 HB	Ligas antifricção, cobre, alumínio e suas ligas mais moles
2,5	até 30 HB	Chumbo, estanho, antimônio e metais-patente

O diâmetro da esfera é determinado em função da espessura do corpo de prova ensaiado. A espessura mínima é indicada em normas técnicas de método de ensaio. No caso da norma brasileira, a espessura mínima do material ensaiado deve ser 17 vezes a profundidade da calota.

O quadro a seguir mostra os diâmetros de esfera mais usados e os valores de carga para cada caso, em função do fator de carga escolhido.

DIÂMETRO DA ESFERA (mm)	F (kgf) = 30 D <sup>2</sup>	F (kgf) = 10 D <sup>2</sup>	F (kgf) = 5 D <sup>2</sup>	F (kgf) = 2,5 D <sup>2</sup>
10	3.000	1.000	500	250
5	750	250	125	62,5
2,5	187,5	62,5	31,25	15,625

Observe que, no quadro anterior, os valores de carga foram determinados a partir das relações entre F e D<sup>2</sup> indicadas no primeiro quadro.

$$\text{Exemplificando: } \frac{F}{D^2} = 30 \Rightarrow F = 30 D^2$$

Veja como todas essas informações são úteis para resolver um problema prático.

### Verificando o entendimento

Uma empresa comprou um lote de chapas de aço carbono com a seguinte especificação:

- espessura: 4 mm
- dureza Brinell (HB): 180

Essas chapas devem ser submetidas ao ensaio de dureza Brinell para confirmar se estão de acordo com as especificações.

Nosso problema consiste em saber se essas chapas podem ser ensaiadas com a esfera de 10 mm.

Para resolver esse problema, precisamos das informações contidas nos dois quadros anteriores.

Observando o primeiro quadro, você fica sabendo que a relação  $\frac{F}{D^2}$  para este material (aço carbono) é igual a 30.

O segundo quadro mostra que, para uma esfera de 10 mm e um fator de carga igual a 30, a carga de ensaio é de 3.000 kgf.

Com esses dados, é possível calcular a profundidade de impressão da calota, aplicando a fórmula:

$$HB = \frac{F}{\pi Dp}$$

Isolando **p**, temos:

$$p = \frac{F}{\pi Dp} \Rightarrow p = \frac{3.000}{3,14 \times 10 \times 180} \Rightarrow p = \frac{3.000}{5.652} \Rightarrow p = 0,53$$

Portanto, a profundidade da impressão é de 0,53 mm. Sabemos que a espessura do material ensaiado deve ser, no mínimo, 17 vezes a profundidade da calota. Multiplicando a profundidade da impressão por 17, obtemos: 9,01 mm.

Conclusão: as chapas de 4 mm não podem ser ensaiadas com a esfera de 10 mm. Devem ser usadas esferas menores.

A esfera de 10 mm produz grandes calotas na peça. Por isso é a mais adequada para medir materiais que têm a estrutura formada por duas ou mais fases de dureza muito discrepantes.

Em casos assim, a dureza é determinada pela média entre as fases, como acontece com os ferros fundidos, bronzes etc.

A utilização de esferas diferentes de 10 mm só é válida para materiais homogêneos. Esferas de diâmetros menores produziriam calotas menores e, no caso de materiais heterogêneos, poderia ocorrer de se estar medindo a dureza de apenas uma das fases. Com isso, o valor de dureza seria diferente do esperado para o material.

### Representação dos resultados obtidos

O número de dureza Brinell deve ser seguido pelo símbolo HB, sem qualquer sufixo, sempre que se tratar do ensaio padronizado, com aplicação da carga durante 15 segundos.

Em outras condições, o símbolo HB recebe um sufixo formado por números que indicam as condições específicas do teste, na seguinte ordem: diâmetro da esfera, carga e tempo de aplicação da carga.

Exemplificando: Um valor de dureza Brinell 85, medido com uma esfera de 10 mm de diâmetro e uma carga de 1.000 kgf, aplicada por 30 segundos, é representado da seguinte forma:

85HB 10/1000/30

Agora, tente você!

### Verificando o entendimento

Interprete a seguinte representação de dureza Brinell: 120HB 5/250/30.

Resposta:

dureza Brinell: .....

diâmetro da esfera: .....

carga: .....

duração do ensaio: .....

Confira: a dureza Brinell é de 120 HB; o diâmetro da esfera é de 5 mm; a carga aplicada foi de 250 kgf e a duração do ensaio foi de 30 segundos.

O tempo de aplicação da carga varia de 15 a 60 segundos: é de 15 segundos para metais com dureza Brinell maior que 300; de 60 segundos para metais moles, como o chumbo, estanho, metais-patente etc., e de 30 segundos para os demais casos.

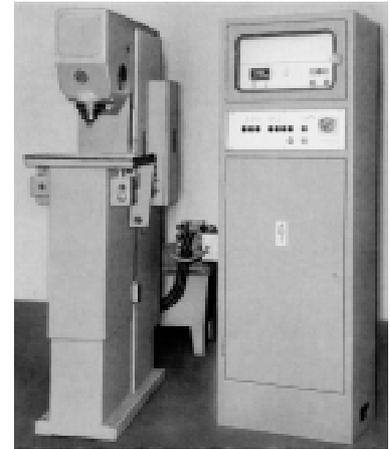
A medida do diâmetro da calota ( $d$ ) deve ser obtida pela média de duas leituras obtidas a  $90^\circ$  uma da outra, e de maneira geral não pode haver diferença maior que 0,06 mm entre as duas leituras, para esferas de 10 mm.

### Vantagens e limitações do ensaio Brinell

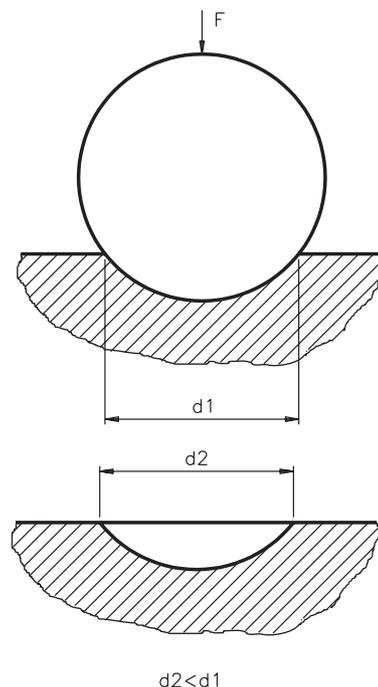
O ensaio Brinell é usado especialmente para avaliação de dureza de metais não ferrosos, ferro fundido, aço, produtos siderúrgicos em geral e de peças não temperadas. É o único ensaio utilizado e aceito para ensaios em metais que não tenham estrutura internauniforme.

É feito em equipamento de fácil operação.

Por outro lado, o uso deste ensaio é limitado pela esfera empregada. Usando-se esferas de aço temperado só é possível medir dureza até 500 HB, pois durezas maiores danificariam a esfera.

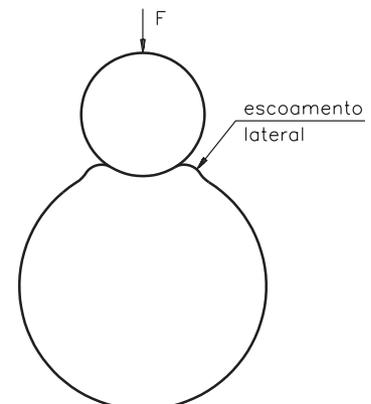


Durômetro Brinell

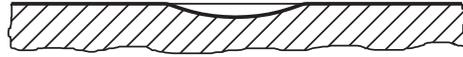


A recuperação elástica é uma fonte de erros, pois o diâmetro da impressão não é o mesmo quando a esfera está em contato com o metal e depois de aliviada a carga. Isto é mais sensível quanto mais duro for o metal.

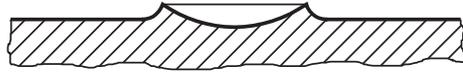
O ensaio não deve ser realizado em superfícies cilíndricas com raio de curvatura menor que 5 vezes o diâmetro da esfera utilizada, porque haveria escoamento lateral do material e a dureza medida seria menor que a real.



Em alguns materiais podem ocorrer deformações no contorno da impressão, ocasionando erros de leitura. As figuras a seguir mostram uma superfície com impressão normal e duas impressões com deformação. A figura *a* representa a impressão normal; na figura *b* observa-se que houve aderência do material à esfera durante a aplicação da carga; e na figura *c*, as bordas estão abauladas, dificultando a leitura do diâmetro.



a



b



c

Em certas situações em que é necessário avaliar a dureza de um material ou produto, outros tipos de ensaio podem ser mais aconselháveis. Você vai estudar dois deles nas duas próximas aulas. Mas, antes disso, que tal rever os assuntos vistos nesta aula para resolver com firmeza os exercícios propostos a seguir? Vamos lá!

Marque com um X a resposta correta:

### Exercício 1

O ensaio de dureza Brinell é o único método indicado para:

- a) ( ) conhecer a resistência de materiais frágeis ao desgaste e à penetração;
- b) ( ) comparar a deformação elástica com a deformação plástica;
- c) ( ) indicar se o material deve sofrer tratamento térmico;
- d) ( ) comparar dureza de materiais heterogêneos.

### Exercício 2

No ensaio Brinell padronizado utiliza-se uma esfera de ..... mm de diâmetro e aplica-se uma carga de ..... kgf por ..... segundos.

- a) ( ) 2,5 – 187,5 – 10;
- b) ( ) 3,0 – 3.000 – 15;
- c) ( ) 10 – 3.000 – 15;
- d) ( ) 10 – 750 – 10.

## Exercícios

**Exercício 3**

A relação  $\frac{F}{D^2}$

de um ensaio é igual a 30, para materiais que apresentam dureza HB entre 90 e 415. Cite dois exemplos de materiais que devem ser ensaiados nessas condições.

Respostas: .....

**Exercício 4**

Num ensaio de dureza Brinell com esfera de 2,5 mm e aplicação de uma carga de 62,5 kgf por 30 segundos, o diâmetro da calota esférica impressa no material foi de 1,05 mm e a dureza HB de 69.

Represente este resultado, a seguir.

Resposta: .....

**Exercício 5**

Uma liga dura de alumínio passou pelo ensaio de dureza Brinell pelo tempo padrão e o diâmetro de impressão produzido pela esfera de 2,5 mm foi de 0,85 mm. Qual o valor da dureza Brinell?

Resposta: .....

