

ANÁLISE DE ENSAIOS DE DUREZA BRINELL E ROCKWELL EM CORPO DE PROVA

Evandro Bertoldi, evandro.bertoldi@unijui.edu.br¹

¹UNIJUI, Av. Gomercindo Saraiva, 1066, Centro, Saldanha Marinho, CEP 98250-000, RS, Brasil.

Resumo: A dureza consiste em uma medida da resistência de um material a uma deformação plástica localizada. Para determinar a dureza, há várias técnicas, sendo que nestas técnicas um pequeno penetrador é forçado contra uma superfície do material a ser testado. A partir desse resultado, mede-se a profundidade ou o tamanho da impressão relacionando a um número, índice de dureza. Assim, quanto mais macio for o material, maior e mais profunda será a impressão e menor será o índice. Esse estudo trata-se do problema de análise de ensaios de dureza a partir dos métodos Brinell e Rockwell com o objetivo de demonstrar os ensaios de dureza em corpos de prova a partir de procedimentos específicos de acordo com o tipo de ensaio. Através desse desenvolvimento, puderam-se verificar as características e limitações dos ensaios realizados, além disso, foi possível conhecer os métodos de ensaio de dureza Brinell e Rockwell a partir de ensaios práticos. Verifica-se, através do estudo e ensaios, que o método Brinell é indicado para a avaliação de metais não ferrosos, ferro fundido, aço, produtos siderúrgicos em geral e peças não temperadas e limita-se a medição de dureza até aproximadamente 500HB devido à esfera utilizada na medição. Quanto ao método Rockwell, foi possível a medição de dureza em materiais no qual através do método Brinell não foi possível, entretanto, esse método apresentou algumas limitações.

Palavras-chave: Ensaio de dureza, Dureza Brinell, Dureza Rockwell.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Souza *et al.* (2009), a dureza da superfície é uma importante propriedade física dos materiais. Pode ser definida como sendo a resistência oferecida pelos sólidos à penetração de uma ponta, podendo ser considerada como um indicativo indireto da resistência do material ao desgaste, resistência à abrasão, além da capacidade do material de resistir a esforços.

Segundo Callister (2002) a dureza é uma propriedade mecânica do material a qual está relacionada à facilidade ou dificultando de deformação plástica localizada, ou seja, é a resistência que o material oferece às pequenas impressões ou riscos.

Outros autores (Van Vlack, 1984 e William, 2000) descrevem que a dureza é uma propriedade na qual se utilizam procedimentos específicos de medição e é definida como resistência à deformação permanente de uma superfície submetida a uma penetração. Os testes Brinell e Rockwell são muito usados como medidas de dureza de materiais.

Alguns trabalhos (Leta *et al.*, 2004 e Anusavice, 2005) mencionam que o ensaio de dureza consiste na impressão de uma pequena marca feita na superfície de uma peça pela aplicação de pressão com uma ponta de penetração, verificando o quanto um dado material resiste à força do penetrador.

Maneiro (2006) menciona que o ensaio de dureza é um dos ensaios mecânicos mais praticados, pois apresenta vantagens interessantes sobre os demais. Dentre essas razões está sua simplicidade e custo, pois os corpos de prova não precisam de preparação complexa (no máximo lixar e polir) e o equipamento é relativamente barato. E ainda, o ensaio é considerado não-destrutivo, pois não há deformação, e tampouco fratura da amostra. E por fim, é um ensaio que pode gerar outras informações tais como módulo de elasticidade, limite de resistência, tensão residual, dentre outras.

Os testes mais frequentemente utilizados para se determinar a dureza dos materiais são conhecidos pelos nomes de: Brinell, Rockwell, Vickers e Knoop. As durezas Brinell e Rockwell, também denominadas macrodurezas, utilizam áreas extensas de um determinado material para análise da dureza. Por estes motivos, a dureza Brinell e Rockwell são comumente empregada para análise da dureza de materiais na indústria, conforme descrito em Anusavice (2005).

A dureza dos materiais pode ser expressa através de várias escalas que, direta ou indiretamente, estão relacionadas à pressão aplicada para deformar a superfície testada. Os indentadores podem ser esféricos, piramidais ou cônicos, de acordo com alguns trabalhos (American Society for Metals – Metals Handbook, 2000 e Chiaverini, 1986).

De acordo com Chiaverini (1986), a determinação da dureza dos metais constitui um método rápido, que permite avaliar as condições de fabricação e tratamento das ligas metálicas, as diferenças estruturais locais e a influência de elementos de liga. Embora a dureza não seja utilizada como parâmetro de projeto de peças, correlaciona-se com

razoável aproximação com algumas propriedades mecânicas como resistência à tração, particularmente no caso dos aços.

Conforme Suterio (2005), o ensaio de dureza está bem difundido e fundamentado, pois há vários estudos nesta área a fim de caracterizar o material nas mais diversas vertentes, ou seja, o ensaio de dureza está sendo utilizada para determinar as propriedades mecânicas, tensões residuais, resistência à fratura, dentre outros.

Conforme descrito em American Society for Metals – Metals Handbook (2000), para metais, a dureza é diretamente proporcional à tensão de escoamento para a deformação imposta pela endentação. Propriedades como tenacidade, resistência ao desgaste e usinabilidade, podem ser estimadas pela medição de dureza. O ensaio de dureza é talvez o teste mais simples e de mais baixo custo para caracterização de materiais, pois não requer uma preparação elaborada da amostra. Os equipamentos empregados também são de baixo custo.

Esse estudo trata-se do problema de análise de ensaios de dureza em materiais aplicados na indústria a partir dos métodos Brinell e Rockwell utilizando corpos de prova.

Têm-se como objetivos, demonstrar e conhecer os ensaios de dureza Brinell e Rockwell a partir de ensaios práticos em corpos de prova de acordo com procedimentos específicos para cada tipo de ensaio, obtendo-se uma relação entre a força aplicada e a área impressa no material, e conseqüentemente, a dureza do material ensaiado, e aplicar equações para realizar os cálculos das variáveis dos ensaios. Além disso, pretende-se verificar o comportamento do material durante o ensaio prático, observar o procedimento de medição da dureza e funcionamento do durômetro, e também verificar as características e limitações dos ensaios de dureza aplicados em diversos tipos de materiais, através de diferentes valores de cargas e tipos de penetradores.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A dureza é medida levando em consideração a geometria do punção, assim faz-se a medida da profundidade ou do tamanho da impressão resultante, a qual por sua vez é relacionada a um número índice de dureza. Quanto mais macio o material, maior e mais profunda é a impressão e menor é o número índice de dureza.

Pesquisadores e associações de engenharia desenvolveram métodos para conversão de escalas de dureza. Algumas normas apresentam valores tabelados, com a equivalência para diferentes escalas. Entre as mais utilizadas estão às normas ASTM E140 e DIN EN ISO 18625.

Entre os principais métodos de ensaio de dureza, encontram-se os métodos Brinell e Rockwell. Para o estudo de ensaio de dureza apresentado nesse trabalho, utilizou-se, para os corpos de prova, materiais como chapas de aço e alumínio com ligas desconhecidas, e também materiais temperados com ligas desconhecidas. E para a medição das durezas utilizou-se os equipamentos abaixo

- Durômetro analógico Pantec;
- Penetrador de esfera de 1/16";
- Penetrador de diamante de 120°;
- Lupa de aumento com grau de 8X TC;
- Paquímetro digital Mitutoyo.

2.1. Ensaio de Dureza Brinell

De acordo com Guibert *et al.* (2000), 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 aplicada F , durante um tempo t , produzindo uma calota esférica de diâmetro d , mostrado na Fig. 1. A dureza Brinell é representada pelas letras HB. Esta representação vem do inglês Hardness Brinell.

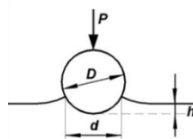


Figura 1. Tipos mais usados de corpos de prova para ensaio de tração.

A dureza Brinell (HB) é a relação entre a carga aplicada (F) e a área da calota esférica impressa no material ensaiado (A_c) representado na Eq. (1).

$$HB = \frac{F}{A_c} \quad (1)$$

Sendo:

HB = Dureza dada em Brinell;

F = Carga aplicada sobre a esfera em kgf;

A_c = Área da calota esférica em mm^2 .

A área da calota esférica é dada pela Eq. (2) abaixo:

$$A_c = \pi \cdot D \cdot p \quad (2)$$

Sendo:

D = Diâmetro da esfera em mm;

p = Profundidade da calota.

Substituindo a Eq. (2) na Eq. (1), tem-se a Eq. (3) abaixo:

$$HB = \frac{F}{\pi \cdot D \cdot p} \quad (3)$$

Devido à medição da profundidade (p), que é um valor muito pequeno, utiliza-se uma relação matemática entre a profundidade (p) e o diâmetro (d) para chegar à equação matemática que permite o cálculo da dureza HB, representada na Eq. (4).

$$HB = \frac{2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (4)$$

Sendo:

HB = Dureza dada em Brinell;

F = Carga aplicada sobre a esfera em kgf;

D = Diâmetro da esfera em mm;

d = Diâmetro da calota em mm.

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, conforme ilustrado na Eq. (5).

$$F = 0,25 \cdot D < d < 0,5 \cdot D \quad (5)$$

Sendo que o valor ideal para d é representado na Eq. (6).

$$d = 0,375 \cdot D \quad (6)$$

Para obter um diâmetro de impressão dentro do intervalo citado, 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 $F(D^2)^{-1}$ 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. A Tab. 1 mostra os principais fatores de carga utilizados e respectivas faixas de dureza e indicações.

Tabela 1. Fatores de carga utilizados para cálculo.

$F \cdot (D^2)^{-1}$	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 de norma brasileira, a espessura mínima do material

ensaiado deve ser 17 vezes a profundidade da calota. A Tab. 2 mostra os diâmetros de esfera mais usados e os valores de carga para cada caso, em função do fator de carga escolhido.

Na Tab. 2, os valores de carga foram determinados a partir das relações entre F e D2 indicadas na Tab. 1.

Tabela 2. Diâmetros de esferas e fatores de carga.

Diâmetro da esfera (mm)	F(kgf) = 30D ²	F(kgf) = 10D ²	F(kgf) = 5D ²	F(kgf) = 2,5D ²
10	3000	1000	500	250
5	750	250	125	62,5
2,5	187,5	62,5	31,25	15,625

A esfera de $\phi 10$ mm produz grandes calotas na peça. Por isso é a mais adequada para medir materiais heterogêneos, que têm a estrutura formada por duas ou mais fases de dureza muito discrepante (ferros fundidos, bronzes etc).

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.

Conforme Guibert *et al.* (2000), 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. O valor 85HB 10/1000/30 significa uma dureza Brinell 85, medido com uma esfera de $\phi 10$ mm e uma carga de 1.000 kgf aplicada por 30 segundos. O tempo de aplicação da carga varia de 15 a 60 segundos, sendo que 15 segundos para metais com dureza Brinell maior que 300; 60 segundos para metais moles, como chumbo, estanho, metais-patente, entre outros, 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° uma da outra, e de maneira geral não pode haver diferença maior que 0,06 mm entre as duas leituras, para esferas de $\phi 10$ mm.

O ensaio Brinell é utilizado para avaliação de dureza de metais não ferroso, ferro fundido, aço, produtos siderúrgicos em geral e de peças não temperadas. Na área agrícola, pode ser utilizado para medições de dureza de equipamentos que terão contato com o solo. É o único ensaio utilizado e aceito para ensaios em metais que não tenham estrutura interna uniforme. É feito em equipamentos 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 500HB, pois durezas maiores danificariam a esfera.

2.2. Ensaio de Dureza Rockwell

De acordo com Penteadó (2003), no início do século XX houve muitos progressos no campo da determinação da dureza. Em 1922, Rockwell desenvolveu um método de ensaio de dureza que utilizava um sistema de pré-carga. Este método apresenta algumas vantagens em relação aos ensaios Brinell, pois permite avaliar a dureza de metais diversos, desde os mais moles até os mais duros. O ensaio Rockwell, que leva o nome do seu criador, é hoje o processo mais utilizado no mundo inteiro, devido à rapidez e à facilidade de execução, facilidade em detectar pequenas diferenças de durezas e pequeno tamanho da impressão.

Martins *et al.* (2003), desenvolveu estudo para o estabelecimento de tratamentos térmicos de blocos-padrão de dureza em diferentes escalas de dureza Rockwell. Neste método, a carga do ensaio é aplicada em etapas. No primeiro estágio se aplica uma pré-carga, para garantir um contato firme entre o penetrador e o material ensaiado, e depois se aplica a carga do ensaio propriamente dita. A leitura do grau de dureza é feita diretamente num mostrador acoplado à máquina de ensaio, de acordo com uma escala predeterminada, adequada à faixa de dureza do material.

Os penetradores utilizados na máquina de ensaio de dureza Rockwell são do tipo esférico (esfera de aço temperado) ou cônico (cone de diamante com 120° de conicidade). Quando se utiliza o penetrador cônico de diamante, deve-se fazer a leitura do resultado na escala externa do mostrador, de cor preta. Ao se usar o penetrador esférico, faz-se a leitura do resultado na escala vermelha. Nos equipamentos com mostrador digital, uma vez fixada a escala a ser usada, o valor é dado diretamente na escala determinada. A profundidade da impressão produzida pela carga maior é a base da medida do ensaio Rockwell. A Fig. 2 mostra a representação esquemática da profundidade produzida por um penetrador cônico de diamante, no qual a indicação 1 representa a profundidade causada pela pré-carga, a indicação 2 representa a profundidade causada pela carga maior, a indicação 3 representa o penetrador, a indicação 4 representa a ponta de diamante e a indicação 5 representa a medida linear que é a base da leitura do resultado de dureza.

De acordo com Mora (2010), os ensaios Rockwell baseiam-se na medição da profundidade de um penetrador, subtraída a recuperação elástica devido à retirada de uma carga maior e à profundidade causada pela aplicação de uma

carga menor. O aproveitamento de uma carga inicial menor, seguida por uma carga principal maior, aumenta a precisão do ensaio.

O método Rockwell é subdividido em dois grupos: Rockwell normal e Rockwell superficial, a diferença entre os grupos está no valor da carga utilizada para a realização do ensaio. A dureza Rockwell normal aplica um valor de carga maior, até 150 Kgf, enquanto a Rockwell superficial aplica valores até 45 Kgf.

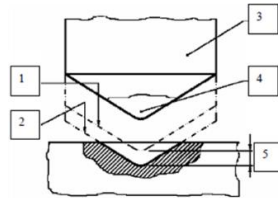


Figura 2. Representação produzida por um penetrador cônico de diamante.

Conforme Guibert *et al.* (2000), a máquina mais precisa mede a dureza Rockwell superficial, e é indicada para avaliação de dureza em folhas finas, lâminas bem como camadas superficiais de materiais. Na máquina Rockwell normal, cada divisão da escala equivale a 0,02mm, e na máquina Rockwell superficial, cada divisão equivale a 0,01 mm. As escalas de dureza Rockwell foram determinadas em função do tipo de penetrador e do valor da carga maior. Nos ensaios de dureza Rockwell normal utiliza-se uma pré-carga de 10 kgf e a carga maior pode ser de 60, 100 ou 150 kgf. Nos ensaios de dureza Rockwell superficial a pré-carga é de 3 kgf e a carga maior pode ser de 15, 30 ou 45 kgf. Estas escalas não tem relação entre si. Por isso, não faz sentido comparar a dureza de materiais submetidos a ensaio de dureza Rockwell utilizando escalas diferentes, ou seja, um material ensaiado numa escala só pode ser comparado a outro material ensaiado na mesma escala. A Tab. 4 e Tab. 5 mostram as escalas mais utilizadas nos processos industriais.

O número de dureza Rockwell deve ser seguido pelo símbolo HR, com um sufixo que indique a escala utilizada. Interpretando o resultado 64HRC, tem-se:

- 64 é o valor de dureza obtido no ensaio;
- HR indica que se trata de ensaio de dureza Rockwell;
- A última letra, no exemplo C, indica qual a escala empregada.

Ao fazer um ensaio de dureza Rockwell na escala C, recorrem-se as tabelas apresentados anteriormente, que trazem as escalas de dureza Rockwell, sendo possível identificar as condições de realização do ensaio.

- Uma vez que o ensaio deve ser feito na escala C, sabemos que se trata de um ensaio de dureza Rockwell normal;
- No ensaio de dureza Rockwell normal, a máquina a ser utilizada é a padrão;
- O penetrador para esta escala é o cônico de diamante;
- O penetrador deve ter 120° de conicidade;
- A carga maior do ensaio é de 150 kgf;
- A leitura do resultado é feita na escala preta do relógio.

A profundidade que o penetrador vai atingir durante o ensaio é importante para definir a espessura mínima do corpo de prova. De modo geral, a espessura mínima do corpo de prova deve ser 17 vezes a profundidade atingida pelo penetrador. Não há meios de medir a profundidade exata atingida pelo penetrador no ensaio de dureza Rockwell. É possível obter a medida aproximada desta profundidade (P), a partir do valor de dureza indicado na escala da máquina de ensaio, utilizando as equações a seguir:

- Penetrador de diamante conforme Eq. (7) e Eq. (8):

$$HR_{\text{normal}} : P = 0,002 \cdot (100 - HR) \quad (7)$$

$$HR_{\text{superficial}} : P = 0,001 \cdot (100 - HR) \quad (8)$$

- Penetrador esférico conforme Eq. (9) e Eq. (10):

$$HR_{\text{normal}} : P = 0,002 \cdot (130 - HR) \quad (9)$$

$$HR_{\text{superficial}} : P = 0,001 \cdot (100 - HR) \quad (10)$$

No exemplo dado, a profundidade aproximada de penetração que será atingida ao ensaiar um material com dureza estimada de 40HRC é de 0,12mm. Consultando as tabelas com as escalas de dureza Rockwell, sabe-se que a escala C se refere à dureza Rockwell normal e que esta escala utiliza penetrador de diamante. O passo seguinte é escolher a Eq. 11 e fazer o cálculo.

$$P = 0,002 \cdot (100 - HR) \quad (11)$$

O ensaio de dureza Rockwell tornou possível avaliar a dureza de materiais que não poderiam ser submetidos ao ensaio Brinell. Mesmo assim, há situações em que nem o ensaio Brinell e o Rockwell são recomendáveis.

Tabela 3. Escala de dureza Rockwell normal e aplicações.

Escala	Cor da escala	Carga maior	Penetrador	Faixa de utilização	Campo de aplicação
A	Preta	60	Diamante cone 120°	20 a 80 HRA	Carbonetos, folhas de aço com fina camada superficial endurecida.
C	Preta	150	Diamante cone 120°	20 a 70 HRC	Aço, titânio, aços com camada endurecida profunda, materiais com HRB>100.
D	Preta	100	Diamante cone 120°	40 a 77 HRD	Chapas finas de aço com media camada endurecida.
B	Vermelha	100	Esfera aço 1,5875 mm	20 a 100 HRB	Ligas de cobre, aços brandos, alumínio, ferro maleável.
E	Vermelha	100	Esfera aço 3,175 mm	70 a 100 HRB	Ferro fundido, ligas de alumínio e de magnésio.
F	Vermelha	60	Esfera aço 1,5875 mm	60 a 100 HRF	Ligas de cobre recozidas, folhas finas de metais moles.
G	Vermelha	150	Esfera aço 1,5875 mm	30 a 94 HRG	Ferro maleável, ligas de cobre-níquel-zinco e de cobre-níquel
H	Vermelha	60	Esfera aço 3,175 mm	80 a 100 HRH	Alumínio, zinco, chumbo.
K	Vermelha	150	Esfera aço 3,175 mm	40 a 100 HRK	Metais de mancais e outros muito moles ou finos.

Tabela 4. Escala de dureza Rockwell normal e aplicações.

Escala	Cor da escala	Carga maior	Penetrador	Faixa de utilização	Campo de aplicação
15 N	Preta	15	Diamante cone 120	65 a 90 HR 15 N	Uso em aplicações similares às escalas HRC, HRA, HRD.
30 N	Preta	30	Diamante	40 a 80 HR 30 N	Uso em aplicações similares às escalas HRC, HRA, HRD.
45 N	Preta	45	Diamante	35 a 70 HR 45 N	Uso em aplicações similares às escalas HRC, HRA, HRD.
15 T	Vermelha	15	Esfera aço 1,5875 mm	50 a 94 HR 15 T	Uso em aplicações similares às escalas HRB, HRF, HRG.
30 T	Vermelha	30	Esfera aço 1,5875 mm	10 A 84 HR 30 T	Uso em aplicações similares às escalas HRB, HRF, HRG.
45 T	Vermelha	45	Esfera aço 1,5875 mm	10 A 75 HR 45 T	Uso em aplicações similares às escalas HRB, HRF, HRG.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Resultados do Ensaio de Dureza Brinell

Esse ensaio é realizado a partir da compressão de forma lenta, por meio de uma carga aplicada numa esfera de diâmetro definido sobre uma superfície devidamente polida. A compressão dessa esfera deixa uma impressão de dureza

permanente na forma de uma calota esférica que é então quantificada posteriormente por equipamento apropriado. Esse valor é representado como número de dureza Brinell que é acompanhado pelo símbolo HB.

Realizou-se os ensaios de acordo com as norma ABNT NBR NM ISO 6506-1:2010 e a partir das informações teóricas descritas anteriormente. As durezas foram medidas desprezando-se a primeira leitura que serviu apenas para a acomodação do penetrador na amostra, na seção transversal de cada corpo de prova cortado. Utilizou-se um durômetro da marca Pantec modelo RBS, com um penetrador esférico de aço de \varnothing 2,5 mm. Utilizou-se uma carga de 62,5Kgf e tempo de penetração de 9s.

Durante a realização dos ensaios Brinell observou-se a distância de quatro vezes o diâmetro da impressão entre os centros de cada impressão. Vale salientar que o durômetro foi devidamente aferido imediatamente antes dos ensaios com a utilização de um padrão de dureza específico para a carga utilizada.

O corpo de prova ensaiado trata-se de uma liga de alumínio com espessura de 2 mm. A Fig. 3 mostra o corpo de prova durante o ensaio de dureza. Na Fig. 4 é ilustrado o corpo de prova após o ensaio de dureza com a indicação da calota obtida no ensaio.



Figura 3. Corpo de prova disposto no durômetro marca Pantec modelo RBS.



Figura 4. Corpo de prova com a indicação da calota obtida no ensaio de dureza.

A partir do ensaio de dureza, obtiveram-se os resultados descritos a seguir para a dureza do corpo de prova. Nesse ensaio obteve-se uma dureza de 67,5 HB, utilizando-se um penetrador esférico de aço de \varnothing 2,5 mm, carga aplicada de 62,5 Kgf e tempo de penetração de 9s, conforme descrito anteriormente e representado na Tab. 5. Chegou-se nesse valor de dureza a partir da leitura e interpretação dos resultados encontrados no ensaio, conforme mostrado na Tab. 5.

Tabela 5. Resultados obtidos no ensaio de dureza.

67,5HB / 2,5 / 62,5 / 9	
Diâmetro da calota	1,1 mm
Área da calota	0,98 mm ²
Profundidade	0,125 mm
Espessura mínima da chapa	2,12 mm

Devido o valor da espessura mínima da chapa no resultado do ensaio ter sido maior que a espessura do corpo de prova, ou seja, o corpo de prova possui espessura de 2 mm e o resultado do ensaio é espessura mínima de 2,12 mm, verificou-se a necessidade de realizar outro ensaio, obtendo-se os resultados apresentados na Tab. 6.

Nesse ensaio obteve-se uma dureza de 45,8 HB, utilizando-se um penetrador esférico de aço de \varnothing 2,5 mm, carga aplicada de 30 Kgf e tempo de penetração de 9s, conforme representado na Tab. 6. Chegou-se nesse valor de dureza a partir da leitura e interpretação dos resultados encontrados no ensaio, conforme mostrado na Tab. 6. Quanto à espessura mínima, nesse ensaio obteve-se o valor de 1,41 mm, validando a espessura de 2 mm utilizado para o corpo de prova.

Tabela 6. Resultados obtidos no ensaio de dureza.

45,8HB / 2,5 / 30 / 9	
Diâmetro da calota	0,9 mm
Área da calota	0,65 mm ²
Profundidade	0,08 mm
Espessura mínima da chapa	1,41 mm

3.2. Resultados do Ensaio de Dureza Rockwell

Esse ensaio baseia-se na medição da profundidade de penetração de um penetrador, subtraídas à recuperação elástica devida a retirada de uma carga maior e a profundidade causada pela aplicação de uma carga menor. Nesse ensaio o tipo do penetrador utilizado pode ser do tipo esférico ou cônico.

Para o ensaio de dureza Rockwell utilizou-se como base a norma ASTM E 18-11 (2008) e as informações teóricas descritas anteriormente. Foram realizadas medidas de dureza, desprezando-se a primeira leitura que serviu apenas para a acomodação do penetrador na amostra, na seção transversal do corpo de prova. Utilizou-se um durômetro da marca Pantec modelo RBS, com penetradores de diamante e aço.

Durante a realização do ensaio de dureza Rockwell observou-se a distância de quatro vezes o diâmetro da impressão entre os centros de cada impressão e não menos de duas vezes e meia desse mesmo diâmetro, das bordas dos corpos de prova. Da mesma forma que no ensaio de dureza Brinell, o durômetro foi devidamente aferido imediatamente antes dos ensaios com a utilização de um padrão de dureza específico para a carga utilizada. Na Fig. 5 é ilustrado o mostrador do durômetro Rockwell, no qual se faz a leitura da dureza e na Fig. 6 é mostrado os penetradores esférico e diamante para a realização do ensaio de dureza.

O procedimento do ensaio de dureza resume-se conforme descrito a seguir:

- 1º passo: Aproximar a superfície do corpo de prova no penetrador;
- 2º passo: Submeter o corpo de prova a uma pré-carga (carga menor);
- 3º passo: Aplicar a carga maior até o ponteiro parar;
- 4º passo: Retirar a carga maior e fazer a leitura do valor indicado no mostrador a partir da escala apropriada.



Figura 5. Mostrador do durômetro Rockwell.



Figura 6. Penetradores esférico (A) e diamante (B).

Iniciou-se a medição da dureza em corpo de prova com material temperado desconhecido e espessura de 2,00 mm, com pré-carga de 10 kgf e carga de 150 kgf a partir de um penetrador de diamante 120º obtendo-se os resultados conforme mostrado na Tab. 7, no qual a média das medições encontradas foi de 56,5 HRC.

Tabela 7. Resultados obtidos no ensaio de dureza.

Medição	Dureza (HRC)
1	57
2	57
3	55
4	56
5	57,5
Média	56,5

Através do resultado da dureza, encontrou-se uma profundidade de 0,087 mm e espessura mínima da chapa de 1,48 mm. Lembrando que para resultados menores que 20 HRC, devem-se utilizar esfera de aço para a medição da dureza.

Em seguida realizou-se a medição da dureza em corpo de prova de aço com liga desconhecida e espessura de 1,60, mm com pré-carga de 10 kgf e carga de 100 kgf a partir de um penetrador esférico de aço com diâmetro de 1/16", obtendo-se os resultados apresentados na Tab. 8.

Tabela 8. Resultados obtidos no ensaio de dureza.

Medição	Dureza (HRB)
1	46
2	41,5

Este ensaio não pode ser concluído, pois, já nas duas primeiras medições percebeu-se que a espessura da chapa não chegaria à espessura mínima. Sendo que a espessura da chapa é 1,60 mm e a espessura mínima é 2,85 mm. Deve-se observar que é necessário realizar mais de duas medições, desconsiderando as três primeiras.

Na sequência, realizou-se o ensaio de dureza em corpo de prova de aço com liga desconhecida e espessura 1,60 mm com pré-carga de 10 kgf e carga de 15 kgf a partir de um penetrador esférico de aço com diâmetro de 2,5 mm e tempo de 9s, obtendo-se diâmetro da calota de 1,5 mm. Dessa forma obteve-se dureza 19HR 15T, no qual também não atende as especificações do ensaio de dureza.

Por fim, tentou-se realizar o ensaio de dureza através do método Brinell em corpo de prova de aço com liga desconhecida e espessura 1,60 mm com pré-carga de 10 kgf e carga de 15 kgf a partir de um penetrador esférico de aço com diâmetro 2,5 mm e tempo de 9s, obtendo-se diâmetro da calota de 1,5 mm, área da calota de 1,96 mm² e espessura mínima de 4,25 mm.

A partir desse método também não se obteve sucesso, pois nos resultados não foi encontrado uma espessura que fosse a igual ou menor à espessura do corpo de prova.

4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do estudo de ensaio de dureza realizado em corpos de prova permitiu conhecer e entender os ensaios de dureza Brinell e Rockwell, possibilitando fazer ensaios práticos em corpos de prova, além da aplicação das equações para realizar os cálculos das variáveis dos ensaios de dureza. Além disso, o ensaio de dureza permitiu verificar o comportamento do material, através de um corpo de prova, durante o ensaio prático e também se pode observar o funcionamento de um durômetro através de ensaios práticos. A metodologia aplicada nesse trabalho permitiu orientar e facilitar o desenvolvimento, possibilitando a realização do ensaio de forma adequada e segura, cumprindo os objetivos estabelecidos. O ensaio de dureza em corpos de prova permitiu verificar que os objetivos principais foram alcançados. Através desse desenvolvimento, puderam-se verificar as características e limitações dos ensaios realizados. Verifica-se, através do estudo e ensaios, que o método Brinell é indicado para a avaliação de metais não ferrosos, ferro fundido, aço, produtos siderúrgicos em geral e peças não temperadas, utiliza-se para a medição um equipamento de fácil operação, e limita-se a medição de dureza até aproximadamente 500HB devido à esfera utilizada na medição. Quanto ao método Rockwell, foi possível a medição de dureza em materiais no qual através do método Brinell não foi possível, entretanto, esse método apresentou algumas limitações. No método Rockwell, as escalas não tem continuidade, dessa forma, materiais que apresentam dureza no limite de uma escala e no início de outra não podem ser comparados entre si quanto à dureza. Outra limitação refere-se ao resultado do ensaio de dureza, no qual no método Rockwell não existe relação com o valor de resistência a tração, como acontece no método Brinell.



5. REFERÊNCIAS

- American Society for Metals – Metals Handbook, 2000, “Mechanical Testing and Evaluation”, Ohio: Metals Park, Vol. 8, 9. Ed.
- Anusavice, K.J., 2005, “Phillips Materiais Dentários”, Elsevier, 11ª ed., Rio de Janeiro, p.764.
- Callister, Jr. e William, D., 2002, “Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução”, Editora LTC, São Paulo, 5ed., p. 78-100.
- Chiaverini, V., 1986, “Tecnologia Mecânica: Estrutura e Propriedades das Ligas Metálicas”, Ed. Pearson Education do Brasil, São Paulo, 2. Ed.
- Guibert, A. A. P., Gomes, P. A. e Kole, A. T., 2000, “Ensaio de Materiais” São Paulo, v.1, 208 p.
- Leta, F.R., Mendes, V.B. e Mello, J.C.S, agosto, 2004, “Medição de Identificações de Dureza com Algoritmos de Visão Computacional e Técnicas de Decisão com Incertezas”, Engevista, v. 6, n. 2, p.15-35.
- Maneiro, M. A. G., Rodríguez, J., 2006, “A Procedure to Prevent Pile up Effects on the Analysis of Spherical Indentation data in Elastic-Plastic Materials”, Mechanics of Materials, Madrid, Spain.
- Martins, A.R., Vidal, A.C., Caminha, I. e Abud, I., 2003, “Desenvolvimento de Padrões de Dureza no Brasil: Estudo da Influência de Parâmetros de Tratamento Térmico nos Valores de não Uniformidade”, In: Jornadas Sam / Conamet / Simposio Materia 2003, Rio de Janeiro, Trabalhos: Rio de Janeiro, p 425-428.
- Mora, N. D., 2010, “Apostila de Materiais Elétricos”, Universidade Estadual do Estado do Paraná, Centro de Engenharias e Exatas, Foz do Iguaçu.
- Penteado, B. M., 2003, “Ensaio de Materiais”, Fundação Roberto Marinho. V 1, 208p.
- Souza, R.O.A. et al., Janeiro / Março, 2009, “Avaliação da Dureza Vickers de Resinas Compostas de Uso Direto e Indireto”, Cienc. Odontol. Bras., v.12, n.1, p.23-30.
- Suterio, R., 2005, “Medição de Tensões Residuais por Indentação Associada à Holografia Eletrônica”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- Van Vlack, L., 1984, “Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais”, Editora Campos Ltda, Rio de Janeiro, 4. Ed.
- William, D e Callister, Jr., 2000, “Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução”, LTC Editora, Rio de Janeiro, 5. Ed.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

O autor é o único responsável pelo conteúdo deste trabalho.

BRINELL AND ROCKWELL'S HARDNESS TESTING ANALYSIS IN SPECIMEN

Evandro Bertoldi, evandro.bertoldi@unijui.edu.br¹

¹UNIJUÍ, Av. Gomercindo Saraiva, 1066, Centro, Saldanha Marinho, CEP 98250-000, RS, Brasil.

Abstract: *The hardness consists in a resistance measure of a material to a localized plastic deformation. To determinate the hardness there are many techniques, wherein this techniques a small penetrator is forced against a surface of the material to be tested. From this result, the depth is measured or the impression size relating it to a number, hardness index. So the softer is the material, bigger and deeper will be the impression and smaller will be the index. This study is about the hardness testing analysis problem from the Brinell and Rockwell's methods aiming to demonstrate the hardness tests in specimen from specific procedures according to the type of test. Through this development, it was verified the characteristics and limitations of the tests made, besides this, it was possible to know the hardness testing methods of Brinell and Rockwell from practical tests. It is verified through studies and testing that Brinell's method is indicate for non-ferrous metal evaluation, cast iron, steel, steel products in general and non-hardened pieces and is limited to the hardness measure until about 500HB, because of the measuring sphere used. In Rocwell's method it was possible the hardness measuring in material in which through Brinell's method was not possible, however, this method presented some limitations.*

Keywords: *Hardness testing, Brinell's hardness, Rockwell's hardness.*