

**UNIRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**COMPARAÇÃO DA DUREZA ENTRE ENGRENAGENS DE CÂMBIO  
GENUÍNO E SIMILAR**

**FRANCISCO SERGIO ALVES DOS REIS FILHO**  
**Orientador: Prof. Edson Roberto Da Silva**

Artigo apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica - UniRV- Universidade de Rio Verde, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**RIO VERDE-GOIÁS**  
**2014**

# Comparação da dureza entre engrenagens de câmbio genuína e similar<sup>1</sup>

Francisco Sérgio Alves Dos Reis Filho<sup>2</sup>, Edson Roberto Da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Artigo apresentado á Faculdade de Engenharia Mecânica como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecânico, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, 2014.

<sup>2</sup>Aluno de Graduação, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, 2014. E-mail: [sergiofilhoeng@gmail.com](mailto:sergiofilhoeng@gmail.com)

<sup>3</sup>Orientador, Professor da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, 2014. E-mail: [edsonroberto\\_25@hotmail.com](mailto:edsonroberto_25@hotmail.com)

**Resumo:** Peças de automóveis são produzidas e vendidas por diferentes fabricantes, sendo que algumas destas peças são conhecidas como genuínas, quando produzidas por fabricantes credenciados pelas montadoras de veículos, enquanto as demais são conhecidas como similares (ou paralelas). Além da variedade de fabricantes, há também uma diferença muito grande entre os preços destes dois tipos de peças. Assim, foram realizados alguns ensaios de durezas e metalografia usando o método da macrografia, para verificar se havia alguma discrepância de material e tratamento térmico nos materiais entre estes dois tipos de peças. Portanto foi medido as durezas em quatro dentes de cada engrenagem e feita uma análise estatística através de teste de hipótese de Mann-Whitney, para verificar se existe alguma diferença entre as durezas dos materiais das duas engrenagens. As análises mostraram que a um nível de significância de 5%, que houve uma diferença entre as durezas, embora em valores absolutos a diferença foi bem pequena, mostrando que a discrepância entre as duas não justifica a diferença de preços tão grande. Com o auxílio da macrografia, usando um microscópio específico, foi possível visualizar a textura macroscópica do material. Na macrografia revelou-se a espessura da camada cementada e sua uniformidade.

**Palavras-chave:** ensaio de dureza, análise estatístico, análise macrográfico, engrenagem.

## Comparison of hardness between gears and similar rates genuine<sup>1</sup>

**Abstract:** Car parts are produced and sold by different manufacturers, and some of these parts are known as genuine, when produced by manufacturers accredited by automakers, while the others are known as similar (or parallel). Besides the variety of manufacturers, there is also a very big difference between the prices of these two types of parts. Thus, some tests of hardness and metallography using the method of macrography to see if there were any discrepancy in material and heat treatment the materials between these two types of specimens were made. Therefore the hardness was measured in four teeth of each gear and made a statistical analysis through hypothesis Mann - Whitney test, to see if there is any difference between the hardness of the materials of the two gears. The analyzes showed that the level of significance of 5%, there was a difference between the hardness, although in absolute terms the difference was very small, showing that the discrepancy between the two does not justify the price difference so great. With the aid of macrography, using a specific microscope, it was

possible to visualize the macroscopic texture of the material. In macrography proved carburized layer thickness and uniformity.

**Keywords:** Hardness test, statistical analysis, macrographic analysis, gear.

## INTRODUÇÃO

Na indústria automobilística as engrenagens são usadas em caixas de câmbio, para a transmissão de torque do motor para as rodas. Os fabricantes de autopeças produzem peças genuínas, quando credenciadas pelas montadoras de automóveis e peças similares (ou paralelas), quando produzidas por fabricantes não credenciados. Porém, há uma diferença muito grande dos preços entre estes dois tipos de peças, chegando em alguns casos, a 150% de discrepância entre os preços.

De acordo com Norton (2004) engrenagens podem falhar por dois modos: quebra do dente por tensões de flexão e crateração por tensões de superfície. Assim, a qualidade da engrenagem é de suma importância, principalmente quando usadas em veículos, onde os esforços e as velocidades de rotação são elevadas.

Entretanto, a qualidade vem sempre relacionadas ao processo de fabricação e aos tratamentos térmicos superficiais a que as engrenagens são submetidas, pois as engrenagens precisa-se ter uma boa resistência ao choque e uma dureza muito elevada para resistir bem ao desgaste abrasivo no conjunto e entre as mesmas, o que eleva-se os preços para manter essas qualidades.

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi verificar se a qualidade das engrenagens (genuínas e similares) são muito diferentes para justificar a enorme diferença de preço que existe entre elas no mercado. Para isto foram realizados ensaios de dureza, usando um Durômetro apropriado e com escala específica, e feita uma análise estatística para a comprovação desta hipótese, para analisar suas estruturas foi realizado a metalografia, usando o método da macrografia.

De acordo com Colpaert (2004), a macrografia consiste em um exame do aspecto de uma peça ou amostra metálica, segundo sua secção plana devidamente polida e em regra atacada por um reativo apropriado.

## MATERIAL E MÉTODO

O presente trabalho foi conduzido no laboratório de ensaios mecânicos da Faculdade de Engenharia Mecânica da Onere - Universidade de Rio Verde, localizada na Fazenda Fontes do Saber, em Rio Verde –Goiás.

Para a verificação da hipótese de que os dois tipos de engrenagens (genuínas e similares) possuem durezas iguais, foi realizado o teste de hipótese de Mann-Whitney que, de acordo com Martins (2005), é usado para testar se duas amostras independentes que foram retiradas de populações com médias iguais. Deste modo foram realizadas medições de dureza em quatro dentes distintos de cada engrenagem, para comparação através do teste de hipótese.

Para o teste de dureza de acordo com a ABNT, foi utilizado um Durômetro Rockwell, mostrado na figura 01, com escala C, com cone de diamante 120°, e uma pré-carga de 1470 N, uma vez que através de testes realizados a dureza indicada foi a Rockwell C.



Fonte: Próprio autor (2014)  
FIGURA 1- Durômetro Rockwell.

Foi realizado quatro testes de dureza em cada uma das duas engrenagens. Os testes foram realiza aleatoriamente em quatro dentes distintos das mesmas. Após os ensaios de dureza foi realizado o teste de hipótese e a comparação dos resultados.

Para a realização da macrografia observa-se a secção dos dentes que é onde se obtêm maiores esforços mecânicos. Retira-se uma amostra de cada uma das engrenagens para o ensaio metalográfico nas duas engrenagens, para observar a sua estrutura, secção transversal e o arranjo das mesmas. Em seguida realiza-se comparação dos resultados.

Com um Poli Corte representado na figura 02, retira-se as duas amostras, e em seguida com a ajuda de uma Politriz PLR11, representada na figura 03, cuidadosamente lixa-se as mesmas com lixas d'água, começando com uma lixa de granulação 120, assim que sumir as ranhuras visíveis à olho nu, gira-se a amostra à 90° graus, e repita todo este processo com as lixas de número decrescente, 220/320/400/600 até chegar em uma lixa de granulação menor a de 1200.



Fonte: próprio autor (2014)  
FIGURA 2 - Poli Corte



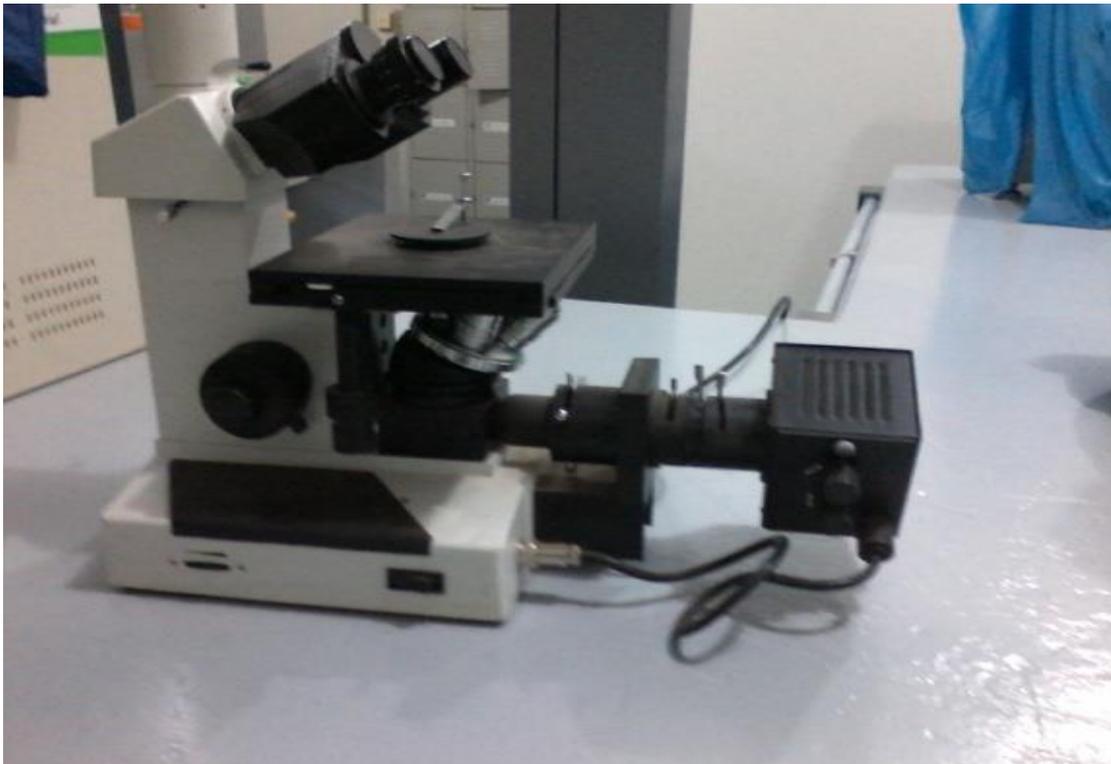
Fonte: próprio autor (2014)  
FIGURA 3 - Politriz PLR-II

Amostra de engrenagens, retiradas para análise, representadas na figura 04, logo abaixo:



Fonte: próprio autor (2014)  
FIGURA 4 – Engrenagem da esquerda original, Engrenagem da direita Similar e amostras sucessivamente.

Com o término do polimento, leva-se as amostras até o microscópio, representado na figura 05, para observar as ocorrências visíveis sem ataque como trincas, porosidades, veios, ou partículas já visíveis neste estado e ranhuras decorrente do lixamento das peças.



Fonte: próprio autor (2014)

FIGURA 5 - Microscópio Opton.

Após as amostras estarem sem nenhuma ocorrência ou ranhuras, aplicou-se o ataque químico com um reativo apropriado.

O ataque da superfície polida do corpo de prova é feito com ácido nital a 5%, de modo a revelar sua secção transversal e o arranjo das mesmas, por tanto a peça é mergulhada no ácido nital em um pequeno reservatório. A duração do ataque para aços e ferros fundidos comuns, é de 5 a 15 segundos, de acordo com Colpaert, (2004).

Para interromper o ataque pelo ácido de modo a não queimar a superfície analisada, a mesma deve ser limpa com álcool etílico, e seca com um secador de cabelo.

Após as amostras estarem preparadas levou-se as mesmas ao microscópio para observar a estrutura das amostras.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes realizados em um Durômetro com escala de dureza Rockwell C apresentaram os seguintes resultados mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados dos testes de dureza.

Testes	01	02	03	04
Genuína	63,0	62,5	63,0	61,5
Similar	59,5	61,0	60,0	61,0

Observando os resultados obtidos, entre a engrenagem Genuína e a Similar mostra-se que sua dureza tem uma pequena diferença como mostra-se no gráfico 01, à seguir:

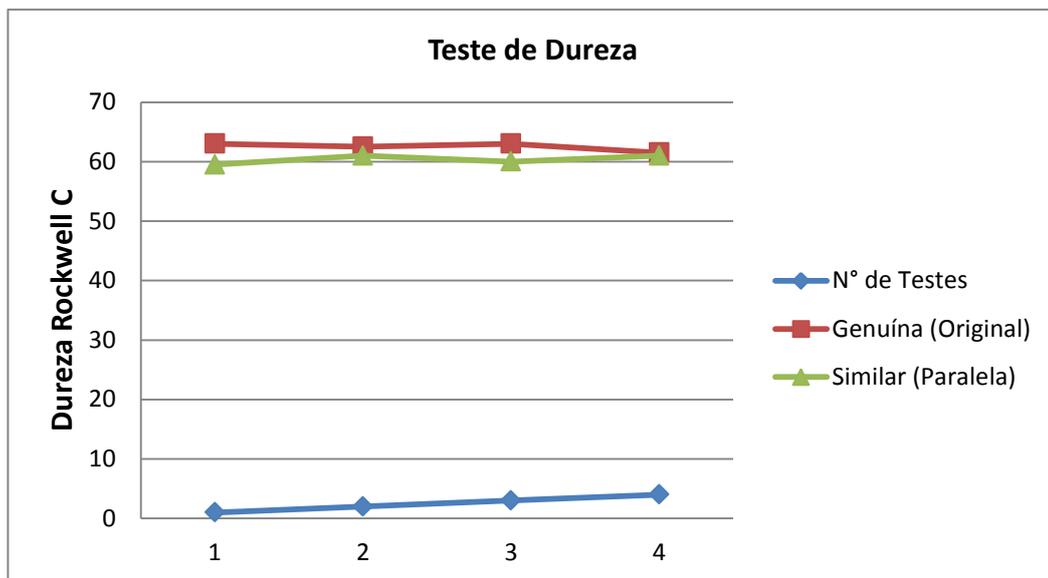


Gráfico 01

Em seguida foi realizado o teste de hipótese a um nível de significância de 5%.

Para realizar-se o teste foram levantadas as seguintes Hipóteses:

H0: As médias das durezas das duas engrenagens são iguais.

H1: As médias das durezas das duas engrenagens são diferentes.

O número de casos ou ( $N^\circ$  de testes), de cada amostra é:

$n_1 = 4$  testes (genuína) e  $n_2 = 4$  testes (similar).

Escolheu-se um nível de significância  $\alpha = 5\%$ . Deste modo, através da tabela de distribuições normais de Martins (2005), obtém-se o valor de  $Z_{\text{tab}}$  de 1,96.

O posto nada mais é do que informar em que posição cada dureza se encontra na tabela 02.

Os postos de todas as posições de durezas são mostrados na Tabela 03.

Tabela 2 – Medidas de dureza de acordo com sua marca.

Marca A (Genuína)	Marca B (Similar)
63,0	59,5
62,5	61,0
63,0	60,0
61,5	61,0

Tabela 3 – Postos das medidas de dureza.

Marca A	Marca B
7,5	1
6	3,5
7,5	2
5	3,5
$R_1 = 26$	$R_2 = 10$

O procedimento para o cálculo da variável  $Z_{\text{cal}}$  é:

Calculando a média:

$$U_2 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2 \Rightarrow$$

$$U_2 = 4 \cdot 4 + \frac{4(4+1)}{2} - 10 \Rightarrow U_2 = 16$$

Calculando o valor da variável (média da quantidade):

$$\mu(U) = \frac{n_1 \times n_2}{2} \Rightarrow$$

$$\mu(U) = \frac{4 \times 4}{2} \Rightarrow \mu(U) = 8$$

Calculando o Desvio Padrão:

$$\sigma(U) = \sqrt{\frac{n1 \cdot n2(n1 + n2 + 1)}{12}} \Rightarrow$$

$$\sigma(U) = \sqrt{\frac{4 \cdot 4(4 + 4 + 1)}{12}} \Rightarrow \sigma(U) = 3,46$$

Calculando o  $Z_{cal}$

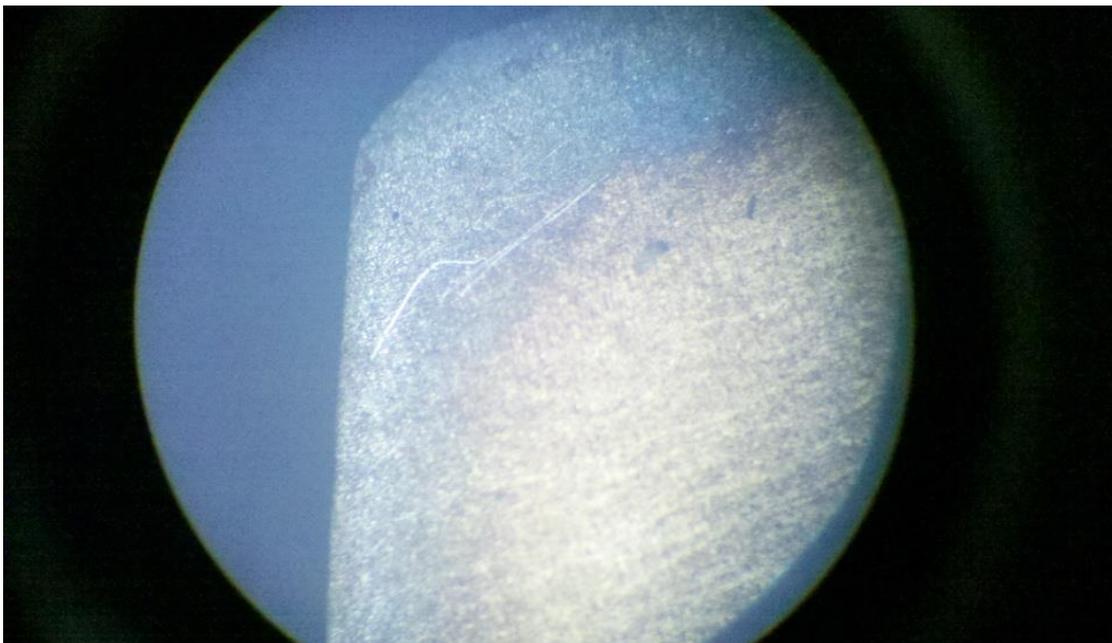
$$Z_{cal} = \frac{\mu - \mu(U)}{\sigma(U)} = \frac{16 - 8}{3,46}$$

$$Z_{cal} = 2,31$$

Assim,  $Z_{cal} > Z_{tab}$  como, rejeita-se  $H_0$ , concluindo-se, com risco de 5%, que as médias das durezas das duas engrenagens são diferentes.

Os resultados do teste de hipótese mostraram que as durezas das duas engrenagens são diferentes, porém, em valores absolutos os valores de dureza não são tão diferentes assim como mostra na (Tabela 1), não justificando a enorme diferença de preços entre as engrenagens genuínas e as paralelas.

Após levar a amostra da engrenagem genuína (original) ao microscópico visualiza-se a imagem mostrada na figura 06:



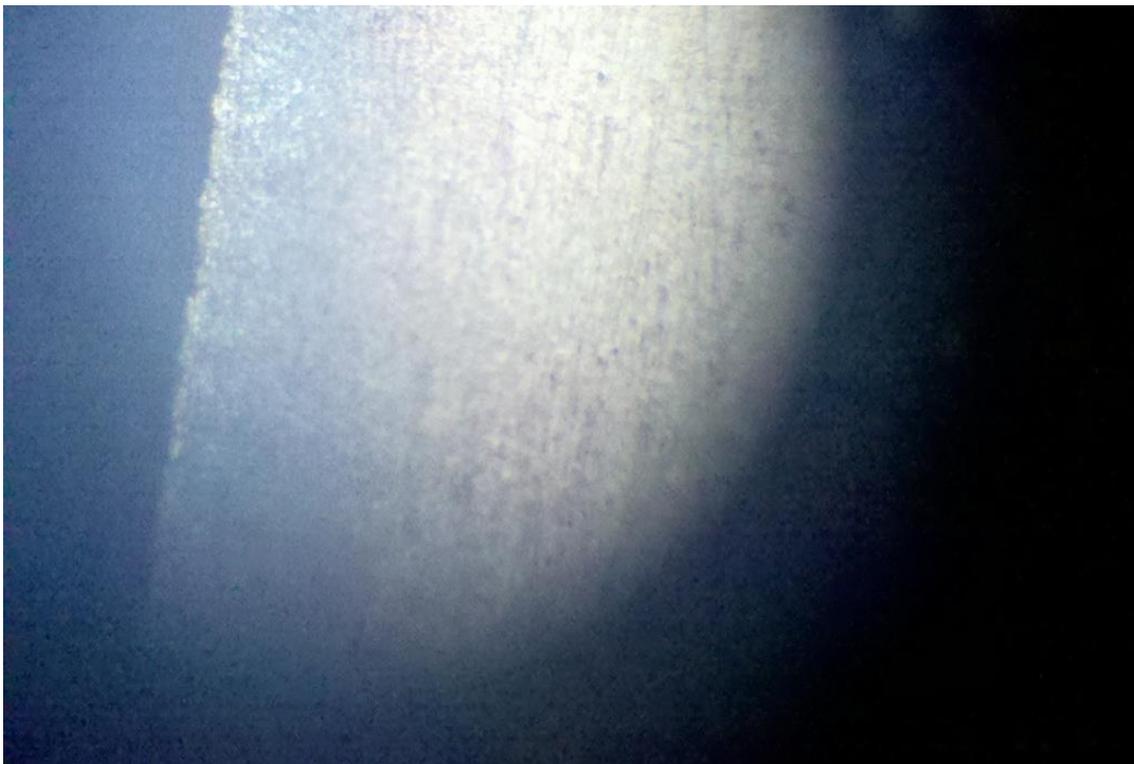
Fonte: próprio autor (2014)

FIGURA 6 – Dente da engrenagem genuína (original).

Conforme visualizado na foto 06, no dente da engrenagem genuína a secção transversal junto à região periférica, é uma camada uniforme, logo seu tratamento térmico pela profundidade pode ter sido uma cementação seguido de têmpera e revenido, com um processo térmico bem controlado em função do tempo e temperatura, devido sua penetração, como mostrado em seus contornos uniformes.

Como demonstrado na figura 04 às engrenagens foram usinadas. Observando-se a engrenagem genuína (original), a mesma passou por um processo de usinagem em toda sua superfície e em seus dentes e diâmetro interno, uma vez que se obtém um custo e tempo com esse processo de usinagem.

Após levar a amostra da engrenagem similar (paralela) ao microscópico visualiza-se a imagem mostrada na figura 07:



Fonte: próprio autor (2014)

FIGURA 7 – Dente da engrenagem similar

Conforme visualizado na foto 07, no dente da engrenagem similar, a secção transversal junto a região periférica, é uma a camada não-uniforme que provavelmente seu tratamento térmico pela profundidade pode ter sido uma cementação seguido de têmpera e revenido, porém com um menor controle sobre o tempo e sua temperatura, comprometendo assim sua qualidade.

Como demonstrado na figura 04, à engrenagem similar passou pelo o processo de usinagem nos dentes e em suas laterais e em seu diâmetro interno, uma vez que obtem-se um custo e tempo com esse processo de usinagem.

## CONCLUSÕES

Os resultados do teste de hipótese mostraram que as durezas das duas engrenagens são diferentes, porém, em valores absolutos os valores de dureza não são tão diferentes assim como mostra na (Tabela 1), Verificou-se também que, em valores absolutos, a dureza da engrenagem similar não fica muito abaixo daquela obtida na engrenagem genuína, mostrando que os materiais não são tão diferentes assim, e sua composição química também pode ser similares devido aos resultados aproximados à nível de dureza, desta forma, não há uma explicação plausível para uma diferença de preços que chega a 150% entre os dois tipos de engrenagens.

A pequena superioridade da dureza da engrenagem genuína mostra que, provavelmente, os materiais usados nas duas engrenagens, possuem propriedades mecânicas similares. Neste caso, a pequena discrepância pode ser devido à qualidade dos tratamentos térmicos ou mecânicos realizados de forma diferente nas duas engrenagens. De qualquer forma, os níveis de dureza das duas engrenagens indicam um material de elevada dureza.

Com a macrografia conseguimos visualizar seus contornos e profundidade e uniformidade do tratamento térmico utilizado, nestes dois casos, entretanto, chegou-se a conclusão que foi utilizado à cementação, seguida de têmpera e revenido, por que com a utilização destes processos, consegue-se obter uma dureza superficial da peça com qualidades iguais as visualizadas nas amostras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### ABNT

NBRNM146-1 (1998) Materiais metálicos - Dureza Rockwell -Medição da dureza Rockwell (escalas A, B, C, D, E, F, G, H e K) e Rockwell superficial (escalas 15N, 30N, 45N, 15T, 30 T e 45 T) e calibração de equipamento.

Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns – Prof. Hubertus Colpaert, São Paulo, 3ª edição, Junho 1983.

MARTINS, GILBERTO DE ANDRADE. **Estatística Geral e Aplicada**. Ed. Atlas. São Paulo: 2005, 428p.

NORTON, ROBERT L. **Projeto de Máquinas – Uma abordagem integrada**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2004, 931 p.