

A INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO DE MATERIAIS USINADOS

Marcelo Baraldi, marcelo.baraldi@sp.senai.br¹

Wallyson Thomas Alves da Silva, wallyson.silva@sp.senai.br¹

Fábio Kuranaka, fabio.kuranaka@sp.senai.br¹

¹ Faculdade SENAI Roberto Mange, Rua Pastor Cícero Canuto de Lima 71 Campinas - SP

Resumo: Este trabalho tem por finalidade avaliar a influência da rugosidade superficial de corpos de prova nos ensaios de tração para aço ABNT 1020. Na indústria atual, a demanda de produtos com tecnologia e qualidade cada vez mais avançadas, a avaliação das propriedades mecânicas torna-se fundamental para se obter produtos confiáveis, com qualidade assegurada. Tais informações são necessárias para que Engenheiros e Projetistas possam elaborar projetos com alto índice de confiabilidade. A norma brasileira NBR ISO 6892-1:2013, trata justamente da normalização para elaboração destes ensaios, a fim de especificar todas etapas necessárias para o desenvolvimento de ensaios padronizados e confiáveis. As normas que regulamentam os ensaios de tração não estabelecem um padrão para rugosidade dos corpos de prova, dando margem para variações nos ensaios, o que dificulta estabelecer padrões de análise. Portanto, surgiu a questão: qual a rugosidade ideal para realização de ensaios de tração? Os resultados obtidos durante o ensaio na máquina universal de tração, apresentaram pequenas imperfeições micro geométricas (menor rugosidade), quanto menor a rugosidade, maior será o módulo de elasticidade do material ensaiado, o que possibilita maior rigidez mecânica e integridade superficial.

Palavras-chave: Ensaios de tração. Rugosidade superficial. Corpos de prova.

1. INTRODUÇÃO

Os ensaios de tração são utilizados na determinação da resistência de um determinado produto quando aplicado esforços mecânicos que tendem a deformá-lo. Por meio de ensaios é possível determinar e avaliar diversas propriedades dos materiais, identificando se o mesmo é adequado ao uso.

No passado como a produção de peças era artesanal, não havia o controle de qualidade regular dos produtos, todo conhecimento sobre suas propriedades era empírico, dependendo da experiência do artesão que confeccionava estes produtos.

Na indústria atual, a demanda de produtos com tecnologia e qualidade cada vez mais avançadas, a avaliação das propriedades mecânicas torna-se fundamental para se obter produtos confiáveis, com qualidade assegurada. Tais informações são necessárias para que Engenheiros e Projetistas possam elaborar projetos com alto índice de confiabilidade.

A norma brasileira NBR ISO 6892-1:2013, trata justamente da normalização para elaboração destes ensaios, a fim de especificar todas etapas necessárias para o desenvolvimento de ensaios padronizados e confiáveis.

Quando se fala em integridade ou qualidade superficial, vem à cabeça rugosidade, parâmetro que influencia diretamente no acabamento da superfície de uma peça, ou seja, quanto menor a rugosidade de uma superfície, mais lisa ela será. A qualidade superficial de uma peça influencia diretamente em seu desempenho operacional, seja na frenagem do disco de freio de um automóvel ou no fluxo de um líquido em uma tubulação, quanto nas guias de uma máquina de usinagem CNC.

As normas que regulamentam os ensaios de tração não estabelecem um padrão para rugosidade dos corpos de prova, dando margem para variações nos ensaios, o que dificulta estabelecer padrões de análise. Portanto, surgiu a questão: qual a rugosidade ideal para realização de ensaios de tração?

Acredita-se que quanto menor a rugosidade de uma peça, ou seja, quanto melhor seu acabamento, melhor será o desempenho quando submetido a esforços de tração.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Acabamento superficial e Rugosidade

Comumente especificado em projetos mecânicos, a qualidade do acabamento superficial, definido principalmente pela rugosidade, consiste em um conjunto de irregularidades, com espaçamento regular ou irregular, que tendem a formar um padrão ou textura característicos em uma superfície. Estas irregularidades estão presentes em todas as superfícies reais, por mais perfeitas que estas sejam. (Amorim, 2002).

Rugosidade pode ser definida como conjunto de irregularidades, isto é, pequenas saliências e reentrâncias que caracterizam uma superfície. Irregularidades podem ser avaliadas com aparelhos eletrônicos, a exemplo do rugosímetro

ou perfilômetro 3D. A rugosidade tem grande influência no desempenho de elementos mecânicos, sendo fundamental no desenvolvimento de projetos industriais (Fundação Roberto Marinho, 2009).

2.1.1. Rugosidade Média (R_a)

Média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição. Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de medição. Esse parâmetro é conhecido como R_a (rugosidade média) e é expressa em micrometro (μm) (Dotto et al, 2014).

Sendo o parâmetro de medição de rugosidade mais utilizado no mundo, pode ser aplicado em grande parte dos processos e é ideal para usinagens onde os sulcos ficam bem orientados, como o torneamento (Fundação Roberto Marinho, 2009).

2.1.2. Parâmetros de usinagem que afetam a rugosidade

O acabamento deve obedecer a especificação da classe de rugosidade da aplicação do produto, lembrando que para materiais com alto esforço e baixa ductilidade a uniformidade e qualidade superficial devem ser boas.

ASTM E8-13a ITEM 6.1.4 Acabamento de superfície da amostra - Quando os materiais são testados com condições de superfície diferentes das fabricadas, a superfície dos espécimes de ensaio deve ser conforme prevista nas especificações aplicáveis do produto.

Uma superfície usinada pode ser considerada como o resultado de um processo de remoção de material por cisalhamento, ou seja, o corte do material, refletindo em uma série de outros fatores, que influenciam diretamente na qualidade desta superfície, como também previstos na ASTM E8-13a item 6.1.3 e 6.1.3.1, que estabelece os efeitos causados pela usinagem nos resultados do acabamento superficial.

Sendo o avanço (f_n) o parâmetro de corte mais influente na rugosidade, pois a altura dos picos e a profundidade dos vales das marcas de avanço tendem a aumentar em proporção quadrática ao avanço (Machado et al., 2011).

Quando se fala de usinagem, o primeiro parâmetro destacado é a velocidade de corte (v_c). Este parâmetro influencia na rugosidade da peça principalmente quando trabalhamos com baixas velocidades de corte, pois é gerada a APC (aresta postiça de corte), acarretando uma superfície de baixa qualidade, no entanto com velocidade mais alta o acabamento superficial melhora (Machado et al., 2011).

Para Machado et al. (2011) a profundidade de corte aumenta as forças, e, portanto, as possibilidades de flexões. As alturas das ondulações também são aumentadas com a profundidade de corte.

O aumento do raio de ponta torna a ponta da ferramenta mais resistente, mas também aumenta a vibração da ferramenta devido ao aumento do atrito, causado pela maior área de contato entre ferramenta e peça afetando de forma negativa a rugosidade (Diniz, 2013).

2.2. Ensaio de Tração

Entre os diversos tipos de ensaios existentes para avaliação das propriedades mecânicas dos materiais, o mais amplamente utilizado é o ensaio de tração. Essa aplicabilidade se deve ao fato de ser um tipo de ensaio relativamente simples e de realização rápida, além de fornecer informações importantes e primordiais para projeto, fabricação de peças e componente (Garcia, 2014).

No ensaio de tração convencional uma barra de perfil uniforme é submetida a uma carga axial de forma crescente até seu rompimento, e através deste é possível determinar parâmetros como:

- Alongamento;
- Módulo de Elasticidade;
- Limite de Proporcionalidade;
- Tensão Máxima;
- Limite de Escoamento;
- Limite de Resistência;
- Limite de Ruptura;

Para elaboração do ensaio é necessário primeiro marcar, o corpo de prova e medir seu comprimento inicial conforme Fig. (1).

Após o ensaio é necessário realizar a medição do corpo de prova utilizando um dispositivo especial e também instrumento de medição, para determinar o comprimento útil e o diâmetro atingido na região de empescoçamento do corpo de prova.

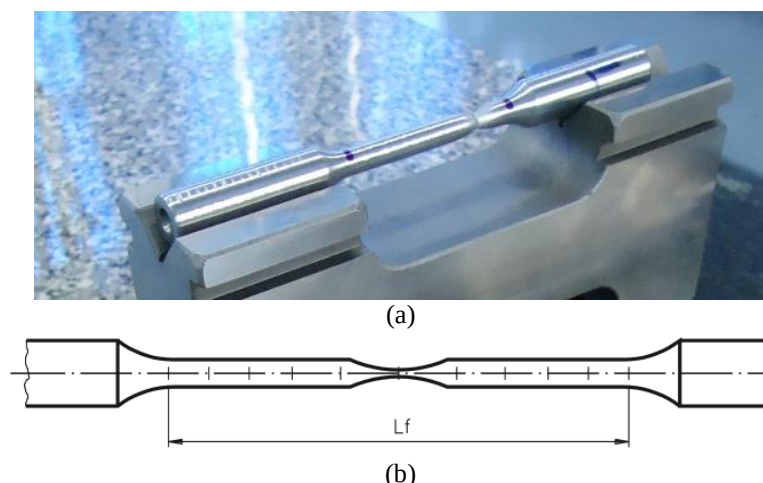


Figura 1. (a) Medição do alongamento, (b) Corpo de prova depois do ensaio de tração (Fundação Roberto Marinho, 2009)

Conforme a norma:

ASTM E8-13a item 7.11 ao reportar valores de alongamento, comprimento do indicador original e o aumento percentual. Se qualquer dispositivo que não seja um extensômetro seja colocado na secção reduzida do espécime durante o ensaio, este também será notado.

O alongamento determina o comprimento útil final e a porcentagem incrementada e também é afetado pelo acabamento superficial, especialmente pelo *burrs* e o *notches*.

O alongamento é representado pela letra A e é calculado, conforme Eq. (1), subtraindo-se o comprimento inicial do comprimento final e dividindo-se o resultado pelo comprimento inicial.

$$A = \frac{L_f - L_o}{L_o} \quad (1)$$

3. METODOLOGIA

3.1. Usinagem

Utilizou-se para confecção das amostras e realização dos ensaios o seguinte material: Aço SAE/ABNT 1020, com diâmetro de $\varnothing \frac{1}{2}$ x 112 mm, usinados com velocidade de corte (v_c) de 350 m/min e profundidade de corte (a_p) de 1,328mm, já que o f_n variou conforme explicado no item 2.2.

Torneou-se os corpos de prova com o inserto de metal duro VBMT160404 TP2500 (Seco Tools), e Torno CNC Galaxy 10 –ROMI, e rugosímetro Mahr (MarSurf M300C) conforme Fig. (2).



Figura 2. Rugosímetro Mahr (Mahr, 2017)

Fixou-se três classes de rugosidade N10, N8 e N6 para avaliação e análise. Na Fig. (3) os intervalos de rugosidade para cada tipo de processo de usinagem, em destaque o processo de torneamento utilizado na preparação das amostras.

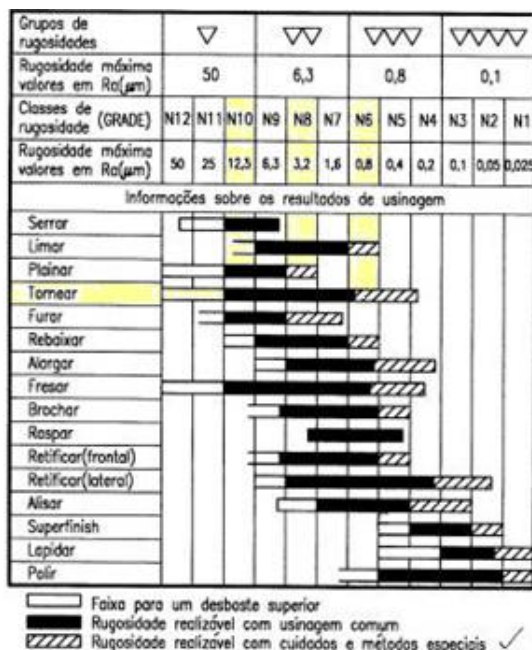


Figura 3. Parâmetros de rugosidade (Fundação Roberto Marinho, 2009)

3.2. Previsão do avanço por rotação

Para atingir a classe de rugosidade desejada foi calculado a velocidade de avanço conforme Eq. (2) (Santos e Sales, 2007), determinando o avanço da ferramenta durante a usinagem das amostras em função do raio de ponta da ferramenta, igual à 0,4mm, visto na Tab. (1).

$$R_a = \frac{f^2}{18\sqrt{3} \cdot r_e} \quad (2)$$

3.3. Usinagem dos corpos de prova

Durante a usinagem das amostras de corpos de prova com rugosidade N6, detectamos que utilizando o avanço calculado de 0,10mm, a rugosidade aritmética média medida foi de 1,2μm, maior que a teórica. Este fenômeno se deve a vibração do sistema de usinagem, desgaste da ponta da ferramenta e fluxo lateral de cavaco impossibilitando o cisalhamento do material da peça cuja a porção necessária para atingir a rugosidade calculada foi maior.

Assim, fez-se vários experimentos para determinar o f_n e conseguir estabelecer os valores de rugosidade previstos. Foram usinadas 6 amostras para cada classe de rugosidade conforme Fig (4), e depois de vários testes empíricos atingiu-se a rugosidade ideal, conforme Tab. (1).

Tabela 1 – Amostras Usinadas (Autoria própria, 2017)

Classe de Rugosidade	f_n mm/rot (teórico)	f_n mm/rot (prático)	Ra (μm)	Rz (μm)
N6	0,1	0,085	0,662 ±0,017	4,098
N8	0,2	0,165	2,691 ±0,152	12,980
N10	0,4	0,25	8,572 ±0,129	45,133



Figura 4 – Amostras N6, N8 e N10
(Autoria própria, 2017)

3.4. Ensaio de tração

Após a usinagem dos corpos de provas com o acabamento superficial na classe de rugosidade desejada, efetuou-se os ensaios de tração conforme norma NBR ISO 6892-1:2013. Para isso foi utilizada a máquina universal de tração modelo KE30.000MP contida na Fig. (5).

Segundo a ASTM E8-13a item 5.2.1(2014), vários tipos de dispositivos de tração podem ser usados para transmitir a força medida pela máquina para os ensaios de tração. Para garantir o esforço de tração axial dentro do comprimento do calibre, o eixo da amostra de teste deve coincidir com a linha central das cabeças da máquina. Qualquer desvio deste requisito pode gerar tensões de flexão que não estão incluídas na tensão usual computação (força dividida por área transversal).



Figura 5. Máquina Universal de tração
(Kratos Equipamentos, 2017)

4. RESULTADOS

Após definidos o comprimento inicial dos corpos de prova foram realizados os ensaios das amostras com rugosidades N6, N8 e N10, e com os dados levantados, foi elaborado gráficos, conforme Fig. (6), demonstrando graficamente o comportamento de cada amostra.

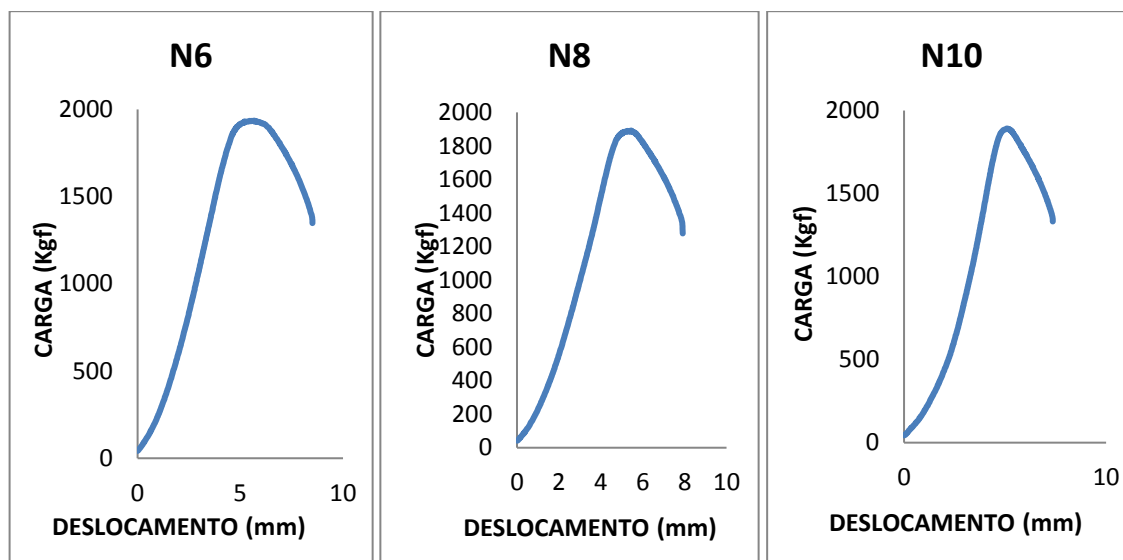


Figura 6. Tensão deformação das amostras individuais.
(Autoria própria, 2017)

Conforme Fig. (7) pode-se observar os três gráficos juntos.

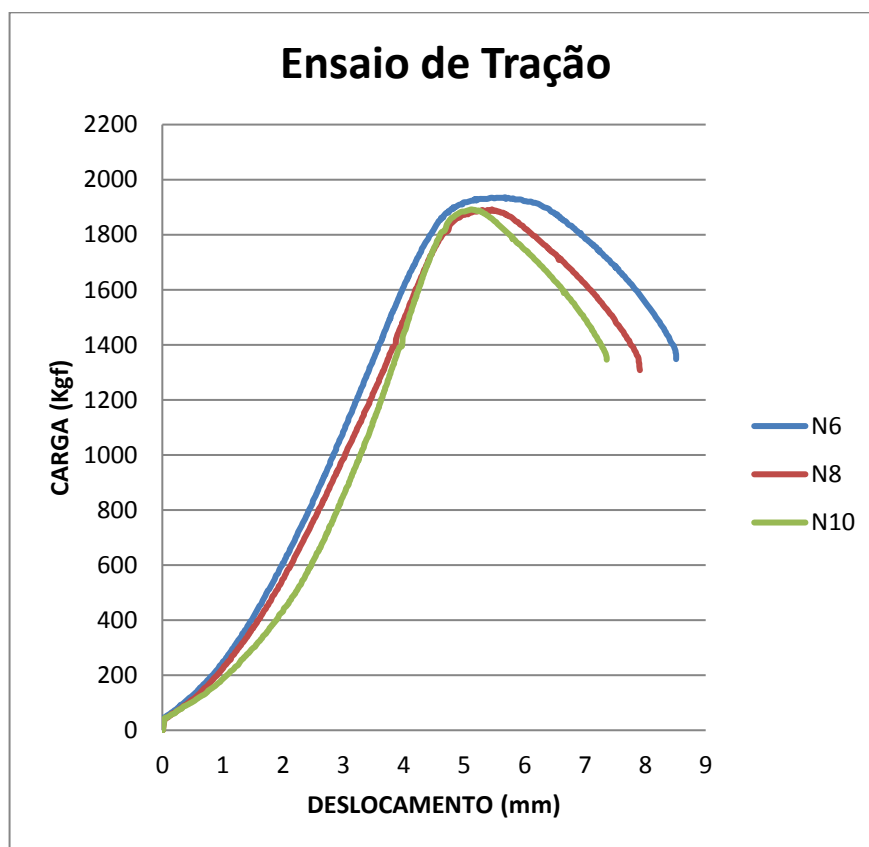


Figura 7. Tensão deformação das amostras mesclado
(Autoria própria, 2017)

Tanto na Fig. (7) quanto na tabela (2) pôde-se observar que ao sobrepor as curvas nota-se um aumento no alongamento da amostra N6 que corresponde à 11,29 % $\pm$ 0,56 % até o ponto de ruptura, nota-se também um ligeiro aumento na carga máxima suportada.

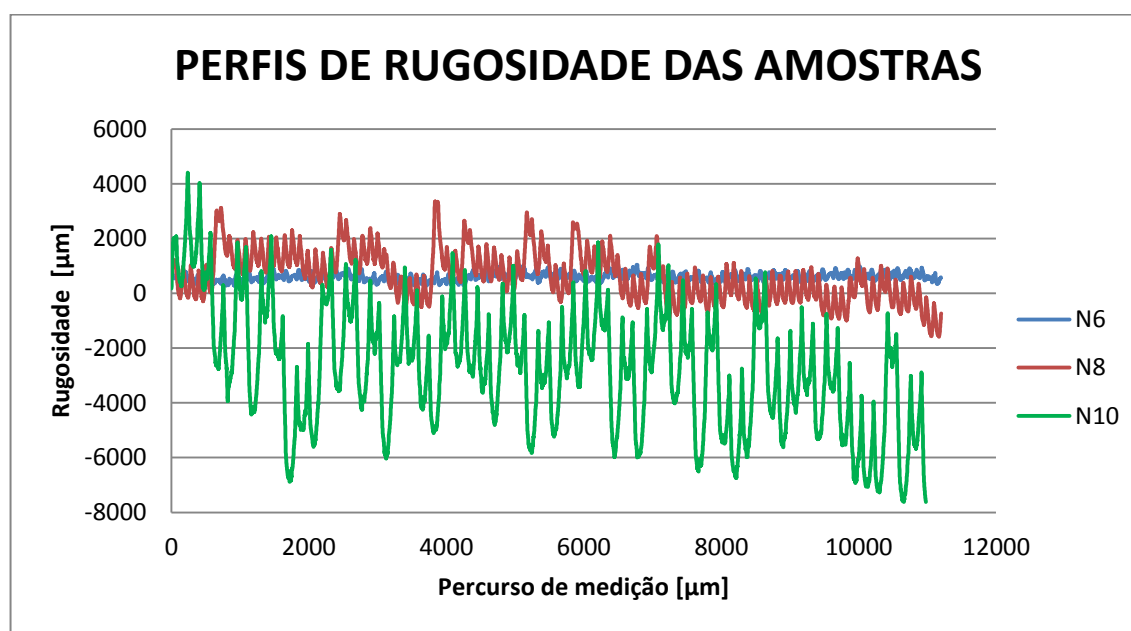
**Tabela 2 – Propriedades mecânicas das amostras
(Autoria própria, 2017)**

AMOSTRA	ALONGAMENTO (%)	FORÇA MÁXIMA (Kgf)
N6	11,29 ± 0,565	1892,714 ± 8,322
N8	10,64 ± 0,197	1852,506 ± 4,161
N10	9,76 ± 0,254	1836,815 ± 26,351

Este fenômeno se deve ao fato que a amostra com qualidade superficial de rugosidade N10 possui maiores picos e vales gerando assim maior quantidade de pontos de ruptura (pontos de tensão) gerando trincas que ocasionam um alongamento menor.

Na Fig.(8) pode-se observar que a amplitude da rugosidade das amostras com qualidade N10 são muito superiores as amostras de qualidade N6 e N8.

Outro fato de relevância quando relacionamos o avanço com o alongamento é que ao aumentarmos o avanço a deformação plástica (alongamento) será menor, porque a pressão específica de corte diminui e consequentemente o coeficiente de atrito diminui, pois, o corte se torna mais dinâmico (Diniz, 2013).



**Figura 8. Perfis de Rugosidade
(Autoria própria, 2017)**

Na análise micrográfica das amostras percebeu-se que devido as condições de usinagem mais agressivas aplicadas ao corpo de prova de maior rugosidade houve o encruamento do grão o que o torna menos resistente, por esta camada estar de certa forma fragilizada acarretando menor resistência e alongamento (Callister, 2016)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através de análise dos resultados obtidos em ensaios práticos pode-se perceber que quanto melhor a qualidade superficial do corpo de prova, maior a carga suportada e maior o alongamento (deformação plástica).

Pode-se observar o grau de influência dos parâmetros de corte sobre a qualidade da usinagem e do acabamento superficial, sendo o avanço, o parâmetro mais influente.

6. AGRADECIMENTOS

À Escola e Faculdade SENAI “Roberto Mange” pela parceria.

7. REFERÊNCIAS

- Callister, William D. / Rethwisch, David G., 2016 “Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução” LTC, 9 Ed.
Diniz, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L., 2013 “Tecnologia da usinagem dos materiais”, Artliber, 8ª ed, São Paulo, Brasil
Fundação Roberto Marinho, 2009, “Metrologia: profissionalizante de mecânica”, Fundação Roberto Marinho; São Paulo, Brasil.
Garcia, A., Spim, J. A., Santos, C. A., 2014, “Ensaaios dos Materiais”, LTC, 2 ed, Rio de Janeiro, Brasil.
Machado, A. R. et al., 2011, “Teoria da usinagem dos materiais”, Blucher, 2 ed, São Paulo, Brasil.
Norma ASTM E8/E8M – 13 a, 2014 “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”, American Association State, EUA.
Santos, S. C., Sales, W. F., 2007, “Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais”, Artliber, São Paulo, Brasil.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ASSESSMENT OF THE CUTTING CONDITIONS INFLUENCE IN THE TURNING OF TEST SPECIMENS SUBMITTED TO THE TENSION TEST

Marcelo Baraldi, marcelo.baraldi@sp.senai.br¹

Wallyson Thomas Alves da Silva, wallyson.silva@sp.senai.br¹

Fábio Kuranaka, fabio.kuranaka@sp.senai.br¹

¹ Faculdade SENAI Roberto Mange, Rua Pastor Cícero Canuto de Lima 71 Campinas - SP

Abstract: In the nowadays industry, where there's a demand for products with more and more advanced technology and improved quality, the assessment of the mechanical properties becomes fundamental in obtaining reliable products with assured quality. Such information is necessary so that engineers and designers may elaborate designs with high reliability indexes. The Brazilian standard NBR ISO 6892-1:2013 covers exactly the normalization of the execution of tension tests in order to determine all the steps necessary to the development of standardized and reliable tests. The standards that regulate tension tests do not establish a norm for the surface roughness of the test specimens. That gives margin to variations in the tests and hinders the establishment of analysis standards. Therefore, the question is: which is the ideal surface roughness of the tension test specimens. The finality of this work is to evaluate the influence of the surface roughness of ABNT 1020 test specimens on their behaviour in tension tests. The tests were carried out in a universal test machine. The results obtained show that the least the surface roughness, the higher are the Elastic modulus and the mechanical rigidity exhibited by the material.

Keywords: normalization; tension tests; mechanical rigidity.