

TCHARLES HENRIQUE DE PAULA

**INFLUÊNCIA DA PROFUNDIDADE DE CORTE E DO
AVANÇO NA RUGOSIDADE PARA O TORNEAMENTO
CILÍNDRICO DO FERRO FUNDIDO FE45012**

JARAGUÁ DO SUL, 2013

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS JARAGUÁ DO SUL – GERALDO WERNINGHAUS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO
MECÂNICA**

TCHARLES HENRIQUE DE PAULA

**INFLUÊNCIA DA PROFUNDIDADE DE CORTE E DO
AVANÇO NA RUGOSIDADE PARA O TORNEAMENTO
CILÍNDRICO DO FERRO FUNDIDO FE45012**

Trabalho de conclusão de curso, intitulado “Influência da Profundidade de Corte e do Avanço na Rugosidade para o Torneamento Cilíndrico do Ferro Fundido FE45012”, apresentado como requisito para a obtenção do título de tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica, do Campus Jaraguá do Sul – Geraldo Werninghaus, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Orientador: Delcio Luís Demarchi

JARAGUÁ DO SUL, 2013

P324i

Paula, Tcharles Henrique de

Influência da profundidade de corte e do avanço na rugosidade para o torneamento cilíndrico do ferro fundido FE45012 / Tcharles Henrique de Paula ; orientador Delcio Luis Demarchi. – Jaraguá do Sul : IFSC, 2013.

79 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (tecnólogo) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Inclui bibliografia.

1. Rugosidade. 2. Usinagem. 3. Parâmetros. 4. Acabamento superficial. I. Demarchi, Delcio Luis. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Título.

CDD 671

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca - Campus Jaraguá do Sul – Geraldo Werninghaus
Catalogado por: Khrisna Vivianne da Silva CRB 14/1229


INFLUÊNCIA DA PROFUNDIDADE DE CORTE E DO AVANÇO NA RUGOSIDADE PARA O TORNEAMENTO CILÍNDRICO DO FERRO FUNDIDO FE45012

TCHARLES HENRIQUE DE PAULA

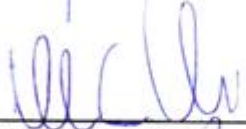
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo, e aprovado em sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Jaraguá do Sul, 14 de fevereiro de 2014.

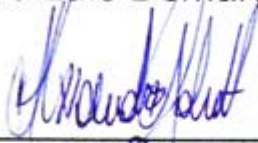
Banca examinadora:



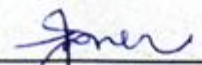
Edson Sidnei Maciel Teixeira, Me.



Delcio Luís Demarchi, Esp.



Alexandre Galiotto, Me.



Sander Joner, Me.

Este trabalho é dedicado aos colegas de classe, aos meus professores, aos meus amigos, à minha namorada e de m especial à minha família.

AGRADECIMENTOS

A todos os professores que fizeram parte do meu desenvolvimento no decorrer do curso. Em especial ao Prof. Delcio Luís Demarchi, pela orientação, disponibilidade, colaboração e empenho, ao Prof. Edson Sidnei Maciel Teixeira pelo incentivo e direcionamento e ao Prof. Gerson Ulbricht pelo apoio com os métodos estatísticos.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC) por fornecer as máquinas e equipamentos dos laboratórios de usinagem e metrologia.

Aos colaboradores do IFSC, que participaram direta e indiretamente do desenvolvimento da pesquisa.

Aos amigos Elisandro, Jonas, Maicon, Marcio, Mauro e Motta pelo companheirismo durante o decorrer do curso.

À minha namorada Bruna pelo apoio e pela compreensão, principalmente durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, Neoraldo A. M. de Paula e Adelaide G. de Paula, pela constante força, carinho e amor durante toda a vida.

“Viver é a coisa mais rara do mundo. A maioria das pessoas apenas existe.” Oscar Wilde

RESUMO

A rugosidade é uma característica que revela muito sobre o tipo de processo utilizado. O seu controle e monitoramento está cada dia com maior uso pelos contratantes dos serviços das ferramentarias e usinagens.

Este trabalho estuda resultados teóricos e práticos de alguns parâmetros de rugosidade e a influência de duas variáveis no processo de torneamento cilíndrico.

São analisados sete parâmetros de rugosidade, sendo estes, rugosidade média, rugosidade média quadrática, rugosidade máxima, rugosidade total, amplitude máxima de perfil por comprimento de medição, número de picos e largura média dos elementos do perfil. Dos quais a rugosidade média, rugosidade média quadrática e a rugosidade máxima são comparadas com valores teóricos.

Os experimentos consistem em usinar o ferro fundido ABNT FE45012 para seis combinações de parâmetros, nas quais existem variações dos valores de avanço e profundidade de corte, e realizar a medição dos parâmetros de rugosidade com um rugosímetro portátil.

Para isto é necessário definir os parâmetros fixos e os variáveis para todas as condições de usinagem e também definir a configuração necessária para o uso do rugosímetro.

Analisa-se as diferenças entre os resultados por meio de comparação estatística denominada método de ANOVA, que permite identificar se a amostra é suficiente e se existe diferença significativa entre os dados medidos.

Como resultado chega-se a uma definição dos impactos causados no processo de usinagem devido as variáveis de cada condição e o desenvolvimento de equações para o cálculo teórico das rugosidades.

Palavras-chave: Rugosidade, Usinagem, Parâmetros, Acabamento superficial.

ABSTRACT

Roughness is a characteristic that reveals much about the process. The control and monitoring your own every day increased use of services by contractors of tooling and machining.

This paper studies theoretical and practical results of some roughness parameters and the influence of two variables in cylindrical turning process.

Seven roughness parameters are analyzed, these being, roughness, root mean square roughness, maximum roughness, the total roughness, maximum amplitude profile by measuring length, number of peaks and average width of profile elements. Of which the average roughness, root mean square roughness and maximum roughness are compared with theoretical values.

The experiments consist in machining cast iron ABNT FE45012 for six conditions, in which there are variations in the values of feed and depth of cut, and perform the measurement of roughness parameters with a portable profilometer.

For this it is necessary to define the fixed parameters and variables for all machining conditions and also the necessary configurations for using the profilometer.

We analyze the differences between the results via method called ANOVA, which allows identification of the sample is sufficient and whether there is a significant difference between the measured data statistical comparison.

As a result we arrive at a definition of the impacts in the machining process due to the variables of each condition and the development of equations for the theoretical calculation of roughness.

Key-words: Roughness, Machining, parameters, surface finish.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Efeito de cunha e zonas de cisalhamento	28
Figura 2 – Torneamento cilíndrico externo e interno	30
Figura 3 – Aresta postiça.	32
Figura 4 – Profundidade de corte (h) no torneamento cilíndrico. ...	34
Figura 5 – Microestrutura F ^o F ^o nodular	34
Figura 6 – Rugosidade média.	42
Figura 7 – Raio de ponta especificado para o rugosímetro Surfrest SJ-201P/M/S Surfrest SJ-301 da fabricante Mitutoyo	46
Figura 8 – Peça de teste	48
Figura 9 – Torno Romi GL240	49
Figura 10 – Combinações para os testes	50
Figura 11 – Velocidade de corte de acordo com o catálogo Iscar....	51
Figura 12 – Rugosímetro Tesa Rugosurf 20.....	52
Figura 13 – Gráfico valores teóricos.....	53
Figura 14 – Comparação entre Ra teórico e medido	54
Figura 15 – ANOVA para valores de Ra medidos e teóricos.....	55
Figura 16 – Teste de Tukey para valores de Ra medidos e teóricos	56
Figura 17 – Comparação entre Rq teórico e medido	57
Figura 18 - ANOVA para valores de Rq medidos e teóricos	58
Figura 19 - Teste de Tukey para valores de Rq medidos e teóricos.	58
Figura 20 – Comparação entre Ry teórico e medido.....	59
Figura 21 - ANOVA para valores de Ry medidos e teóricos	60
Figura 22 - Teste de Tukey para valores de Ry medidos e teóricos .	60
Figura 23 – Gráfico de Rt medido.....	61
Figura 24 - ANOVA para valores de Rt medidos.....	61
Figura 25 - Teste de Tukey para valores de Rt medidos.....	62
Figura 26 – Gráfico de Rz medido	63
Figura 27 - ANOVA para valores de Rz medidos.....	63
Figura 28 - Teste de Tukey para valores de Rz medidos	64
Figura 29 - ANOVA para valores de RSm medidos	64
Figura 30 – Gráfico de RSm medido	65
Figura 31 - Teste de Tukey para valores de RSm medidos.....	65
Figura 32 – Gráfico de RPC medido	66
Figura 33 - ANOVA para valores de RPC medidos	67

Figura 34 - Teste de Tukey para valores de RPc medidos 67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de ferros fundidos nodulares previstas na Norma ABNT NBR 6916/1981	36
Tabela 2 – Aplicações dos ferros fundidos nodulares por classe	37
Tabela 3 – Valores recomendados para <i>cut-off</i>	45
Tabela 4 – Variáveis.....	51
Tabela 5 – Valores teóricos para Ra, Ry, e Rq	53
Tabela 6 – Relação do resultado medido pelo teórico.....	68
Tabela 7 – Valores sugeridos para correção das equações de Ra e Ry teóricos.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
FE – Ferro esferoidal
SAE - Society of Automotive Engineers
CNC – Comando Numérico Computadorizado
Vc – Velocidade de corte
ISO - International Organization for Standardization
d – Diâmetro da peça ou da ferramenta em mm
n – Número de rotações por minuto (RPM)
f - Avanço
Vf – Velocidade de avanço
m – Metro
min – Minuto
mm – Milímetro
rev - Revolução
RPM – Rotações por minuto
h – Profundidade de corte
ap – Profundidade de corte
NBR – Normas Brasileiras Regulamentares
ASTM - American Society for Testing Materials
JIS - Japanese Industrial Standards
MPa – Mega Pascal
CBN – Nitreto Cúbico de Boro
WC -
Co - Cobalto
TiC – Carboneto de titânio
TaC – Carboneto de tântalo
Ry – Rugosidade máxima
Rt – Rugosidade total
Rz – Rugosidade máxima do perfil parcial
Ra – Rugosidade média
Rq – Rugosidade média quadrática
RSm – Largura média entre picos do perfil
RPc – Número de picos por cm ou mm
Lm- Comprimento de medição
 μm - Micrômetro
F^oF^o - Ferro fundido
r – Raio

DF – Degree of freedom(grau de liberdade)
SS – Sum of squares (soma dos quadrados)
MS – Mean squares (média dos quadrados)
F – Valor de teste
P – Nível de significância estatística
IC – Intervalo de confiança
ANOVA – Análise of variance (análise de variância)
IFSC – Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina
kW – Quilowatts
LR – Limite de resistência
LE – Limite de escoamento
A – Alongamento
HB – Hardness Brinell (Dureza Brinell)

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	25
1.1	OBJETIVOS	26
1.1.1	Objetivo geral	26
1.1.2	Objetivos específicos	26
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	28
2.1	USINAGEM	28
2.1.1	Torneamento	29
2.1.1.1	Torneamento cilíndrico.....	30
2.1.2	Comando numérico computadorizado (CNC)	30
2.1.3	Parâmetros de corte.....	31
2.1.3.1	Velocidade de corte	31
2.1.3.2	Velocidade de avanço.....	32
2.1.3.3	Profundidade de corte.....	33
2.2	FERRO FUNDIDO NODULAR	34
2.2.1	Fabricação do ferro fundido nodular	35
2.2.2	Propriedades do ferro fundido nodular	35
2.2.3	Ferro Fundido Nodular FE45012	37
2.3	FERRAMENTAS DE CORTE	38
2.3.1	Materiais para ferramentas de corte	39
2.3.1.1	Ferramenta de metal duro	39
2.4	CONTROLES.....	40
2.4.1	Rugosidade	40
2.4.1.1	Rugosidade média	41
2.4.1.2	Rugosidade máxima	43
2.4.1.3	Rugosidade total	43
2.4.1.4	Desvio médio quadrático	44
2.4.1.5	Amplitude máxima de perfil por comprimento de medição.....	44
2.4.1.6	Número de picos	44
2.4.1.7	Largura média dos elementos do perfil	44
2.4.2	Rugosímetro.....	45
2.4.3	Estatística.....	46
2.4.3.1	Análise de variância (ANOVA).....	46
2.4.3.2	Teste de Tukey	47
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	48
4.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	54

4.1	ANÁLISE DO PARÂMETRO RA	54
4.2	ANÁLISE DO PARÂMETRO RQ	57
4.3	ANÁLISE DO PARÂMETRO RY	59
4.4	ANÁLISE DO PARÂMETRO RT.....	60
4.5	ANÁLISE DO PARÂMETRO RZ.....	62
4.6	ANÁLISE DO PARÂMETRO RSM	64
4.7	ANÁLISE DO PARÂMETRO RPC.....	66
	CONCLUSÃO	70
	PROPOSTA DE TRABALHO	71
	REFERÊNCIAS.....	72
	ANEXOS	78

1. INTRODUÇÃO

Existe atualmente uma infinidade de materiais disponíveis no mercado para se realizar a construção de máquinas, motores, pontes rolantes, talhas, entre outros. O comportamento desses materiais é estudado e analisado em processos como fundição, injeção, conformação, usinagem, etc. Assim, se consegue conhecer mais sobre qual tipo de aplicação é melhor para um material específico e qual a melhor maneira de se fabricar e processar peças do mesmo.

De acordo com Victor Hogan (2013), o ferro fundido nodular é um material que atende a muitas das aplicações dos aços, porém, com uma diminuição de 10% na massa utilizada. Também destaca que comparado ao alumínio forjado, o peso duas vezes e meia maior e a resistência três vezes maior, está proporcionando um aumento da utilização do mesmo pela indústria aeronáutica.

Dentre os ferros fundidos nodulares o mais fácil de encontrar nas lojas especializadas é o ABNT FE45012. Isto acontece, pois o mesmo tem grande uso em diversas aplicações. Parte destas aplicações se tornou possível com o uso deste ferro em peças onde se utilizava os aços SAE 1020 e SAE 1030. (METALÚRGICA MARKO, 2013)

Diante dessas aplicações, busca-se nas próximas páginas se aprofundar no processo de torneamento cilíndrico do ferro fundido nodular ABNT FE45012, já que com o aumento do uso deste tipo de ferro é interessante realizar avanços nos processos que podem ser utilizados para a fabricação dos componentes deste ferro fundido.

Na indústria o processo de torneamento é amplamente utilizado, por ser um processo de grande importância, muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de melhorar a qualidade das ferramentas, do porta-ferramentas e das máquinas. Essas ações podem contribuir para a diminuição dos níveis de vibração gerando um acabamento superficial de maior qualidade.

Para conseguir atender melhores níveis de acabamento também é necessário levar em consideração certos parâmetros

utilizados, como por exemplo, o avanço, a velocidade de corte, o uso de refrigeração e a profundidade de corte.

Com estas análises muitos componentes usinados podem sair do processo de torneamento com acabamentos tais que dispensam a necessidade de processos posteriores, como por exemplo, a retificação e o tamboreamento.

Para garantir que o acabamento superficial atende ao exigido, é necessário que se realize um controle destes valores. Esse controle é feito por equipamentos específicos, sendo que uma das possibilidades é o uso de microscópio e a outra é do rugosímetro, este mais comumente utilizado devido a sua praticidade.

Outra maneira de avaliar a rugosidade é utilizando equações, porém estas equações não visam alguns pontos que impactam a usinagem na prática.

Com isso pretende-se entender a influência de alguns parâmetros de modo a facilitar o atendimento das rugosidades exigidas em projeto, além de verificar a relação entre os valores de rugosidade calculados através das equações e os valores medidos pela verificação prática.

Deve-se avaliar estes valores medidos por meio de um método que proporcione saber se existe diferença significativa entre estes registros.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Facilitar a parametrização para a usinagem por torneamento cilíndrico do ferro fundido ABNT FE45012, baseado no atendimento aos parâmetros de rugosidade solicitados em projeto.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Determinar combinações de parâmetros para serem analisadas.

- b) Calcular e registrar as rugosidades estimadas das amostras para o processo e parâmetros utilizados.
- c) Realizar a usinagem de amostras.
- d) Medir e registrar a rugosidade superficial das amostras.
- e) Analisar os registros das medições e dos valores calculados, com o intuito de encontrar as diferenças entre as amostras.
- f) Identificar nos parâmetros determinados qual realmente influencia na rugosidade superficial para o processo de torneamento cilíndrico.
- g) Propor melhorias para uma estimativa confiável da rugosidade para este processo em específico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 USINAGEM

Por definição, usinagem é um processo de fabricação com remoção de cavaco, e de acordo com Mendonça (2004), a formação de cavaco pode ser descrita da seguinte forma: quando a ferramenta de corte (gume) começa penetrar na peça, o material da mesma é deformado elasticamente e plasticamente.

Witte (1998) destaca que esta penetração da ferramenta na peça ocorre devido ao efeito de cunha, visto na Figura 1, mas também é necessário que a ferramenta possua dureza maior do que a peça a ser usinada. Este efeito cria na peça duas zonas de cisalhamento, classificadas como primária e secundária. As zonas de cisalhamento são os pontos onde há separação do cavaco do restante da peça.

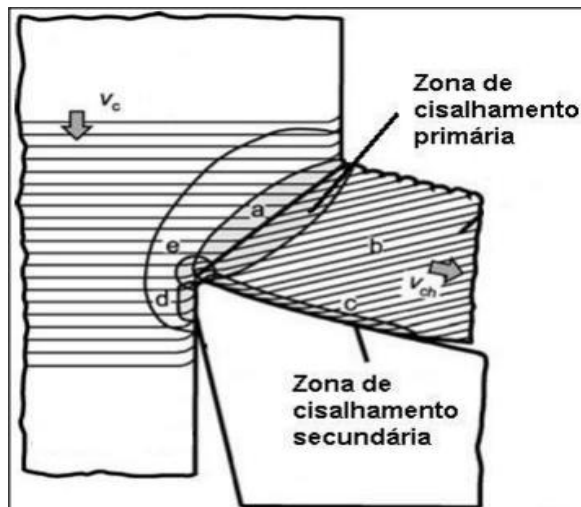


Figura 1 – Efeito de cunha e zonas de cisalhamento
Fonte: Gonçalves (2010)

Para que se realize a usinagem de uma maneira viável, é importante conhecer a fundo o processo utilizado e a capacidade da ferramenta que se está utilizando. Conforme Witte (1998) é necessário saber o momento correto de realizar a troca da

ferramenta e para isso, estipular a velocidade de corte e verificar a necessidade do uso da refrigeração e lubrificação e a maneira correta de utilização da mesma são pontos cruciais.

Contudo, as ferramentas de corte já possuem uma velocidade de corte recomendada por material, que é informada pelo fabricante.

O uso de fluido lubrificante e fluido refrigerante embora muitas vezes também já informado pelo fabricante é adaptado devido às condições de cada máquina disponível para a execução do trabalho.

Sabe-se que a usinagem depende da ferramenta de corte e do efeito de cunha, porém ainda existem algumas variações na usinagem como um todo, dependendo do processo que se pretende utilizar.

Tem-se basicamente a divisão entre processos circulares e lineares, onde para a usinagem por geometria definida existe o torno, a fresadora e a furadeira em um grupo, e a plaina, a brochadora e a serra em outro. (WITTE, 1998)

Para todos os processos citados são necessárias máquinas que comportem a rigidez exigida por tais processos, assim combinada com todos os parâmetros necessários tem-se a peça desejada.

2.1.1 Torneamento

Segundo Ferraresi (1970) o torneamento é um processo mecânico de usinagem no qual a peça tem movimento rotativo em torno do eixo principal da máquina enquanto a ferramenta fica parada executando o corte por meio de cisalhamento (zonas de cisalhamento mostradas na Figura 1). Este corte gera então superfícies de revolução.

A trajetória da ferramenta pode ser entendida como retilínea ou curvilínea. E essas duas ainda podem ser subdivididas em torneamento cilíndrico, cônico, radial ou faceamento e perfilamento.

2.1.1.1 Torneamento cilíndrico

Ferraresi (1970) descreve o torneamento cilíndrico como um processo no qual a trajetória da ferramenta é retilínea e paralela ao eixo principal da máquina. Pode-se realizar torneamento cilíndrico interno e externo conforme mostrado na Figura 2.

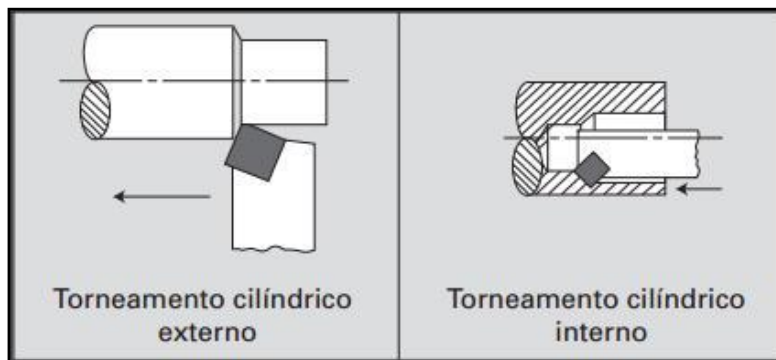


Figura 2 – Torneamento cilíndrico externo e interno
Fonte: Machado et.al. (2009)

A execução do torneamento cilíndrico pode acontecer tanto em máquinas convencionais como em máquinas que possuem comando numérico computadorizado (CNC).

2.1.2 Comando numérico computadorizado (CNC)

As máquinas operatrizes podem ser comandadas de modo manual, no caso das máquinas convencionais, ou então por comando numérico computadorizado.

Para que as máquinas consigam elaborar os perfis geométricos das mais variadas formas, baseia-se no sistema de coordenadas cartesianas. Esse sistema é conseguido, com as linhas traçadas a partir dos movimentos transversal e longitudinal, que formam o gráfico quando se cruzam. Os dois movimentos são referentes aos eixos X e Z. (SILVA, 2011)

Para que as máquinas sejam controladas é necessário que se crie um programa, porém para isso se deve utilizar um

comando conhecido pela máquina, uma forma de linguagem que o sistema da máquina em questão irá conseguir detectar, traduzir e executar. Para tanto existem alguns comandos que podem ser utilizados, os mais comumente encontrados são FANUC, MITSUBISHI, MACH, SIEMENS e MCS.

Cada um destes comandos têm funções para a execução das operações, assim para se criar um programa é necessário conhecer estas funções e a forma correta de aplicá-las.

Silva (2011) destaca que os comandos descritos fazem parte da linguagem G nos sistema ISO de programação.

2.1.3 Parâmetros de corte

2.1.3.1 Velocidade de corte

Ferraresi (1970) e Machado et.al. (2009) definem o seguinte: “a velocidade de corte V_c é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante, segundo a direção e sentido de corte.” Machado et. al. (2009) ainda completa apresentando a Equação 1 para calcular a velocidade de corte em metros por minuto.

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (1)$$

Onde:

V_c – Velocidade de corte (m/min)

d – Diâmetro da peça (mm)

n – Rotações por minuto (RPM)

Caso seja necessário calcular a rotação, precisa-se conhecer a velocidade de corte, para tal pode-se utilizar tabelas que contém a velocidade de corte ideal para o material que se está usinando. Como a velocidade de corte depende também do material da ferramenta o mais indicado é utilizar a velocidade de corte conforme catálogo do fabricante da ferramenta em questão.

A velocidade de corte é um fator que proporciona grande influência para o acabamento superficial das peças, com uma particularidade para a usinagem dos metais onde ocorre a formação de aresta postiça, exemplo na Figura 3, quando esta

velocidade é muito baixa. Daí vem a preocupação com a correta velocidade de corte a ser utilizada. (FERRARESI, 1970)



Figura 3 – Aresta postiça.
Fonte: Sandvik Coromant (2013)

Este parâmetro é definido levando em consideração importantes fatores conforme descrito abaixo.

- Material da peça;
- Diâmetro da peça;
- Material da ferramenta;

2.1.3.2 Velocidade de avanço

Segundo Machado et.al. (2009), a “velocidade de avanço é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e o sentido de avanço”. Esta definição ainda é reforçada por Stemmer (2007). A Equação 2 apresenta a maneira de realizar o cálculo da velocidade de avanço.

$$Vf = f.n \quad (2)$$

Onde:

Vf – Velocidade de avanço (m/min)

f – Avanço (mm/rev)

n – Rotações por minuto (RPM)

Para o cálculo da velocidade de avanço é necessário conhecer o avanço, que é a distância percorrida pela ferramenta em milímetros a cada revolução da peça, e também conhecer a rotação que se está utilizando.

Para a determinação do avanço adequado se deve levar em conta principalmente o material da ferramenta e da peça, o raio da ponta da ferramenta e a rotação que é diretamente proporcional à velocidade de avanço.

Ferraresi (1970) comenta que quando se aumenta a velocidade de avanço, o resultado que se tem é um aumento da temperatura de corte.

2.1.3.3 Profundidade de corte

A profundidade de corte é um dos parâmetros de corte de extrema importância para a usinagem. Stemmer (2007) define a profundidade de corte para o torneamento cilíndrico, como penetração passiva, que é a quantidade que a ferramenta penetra na peça se for medida perpendicularmente ao plano de trabalho.

Machado et. al. (2009) utiliza h para representar a profundidade de corte (Figura 4), já Stemmer (2007) usa ap para descrever a profundidade de corte, descrição que é amplamente adotada por diversos autores. Neste trabalho adota-se ap como padrão.

Este parâmetro será estudado neste trabalho, pois as variações no dimensional da quantidade de material removido aumentam ou diminuem a largura de cavaco e a força de corte necessária, o que pode ser um ponto de influência no acabamento superficial. Na Figura 4 é possível ver qual dimensão é a profundidade de corte no torneamento cilíndrico.

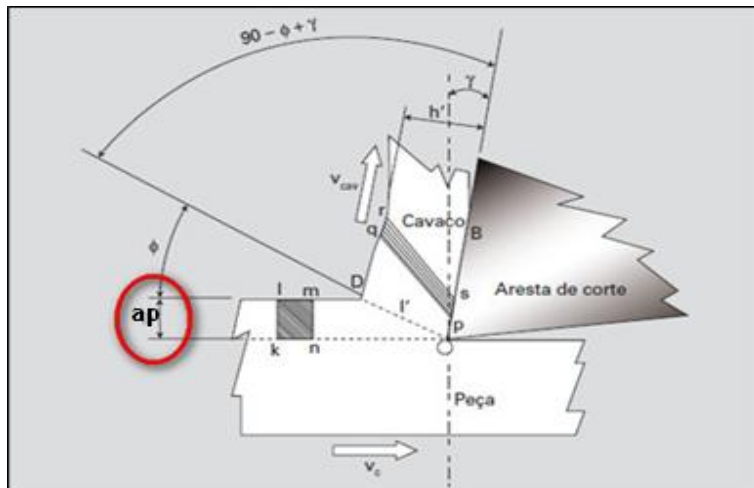


Figura 4 – Profundidade de corte (h) no torneamento cilíndrico.
 Fonte: Adaptado de Machado et. al. (2009)

2.2 FERRO FUNDIDO NODULAR

O ferro fundido nodular, é conhecido como ferro fundido dúctil, por ter como características principais uma excelente resistência mecânica, tenacidade e ductibilidade. Outro fator importante deste ferro é o seu elevado limite de escoamento, se igualando aos aços-carbono sem elementos de liga (CHIAVERINI, 1986).

A sua grafita não é necessariamente nodular, ela é esferoidal (Figura 5), assim afeta menos a continuidade da matriz.

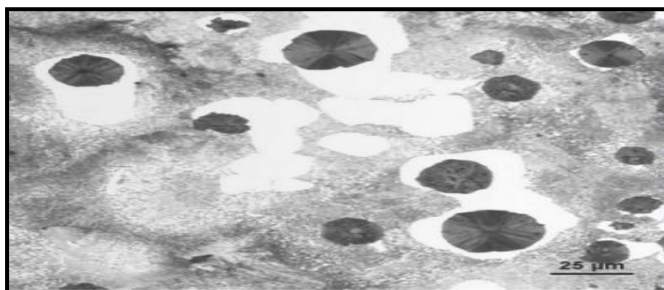


Figura 5 – Microestrutura F⁰F⁰ nodular
 Fonte: Guessser (2009)

Francklin (2009) comenta que uma forma de classificar o ferro fundido é através da comparação visual com o uso de cartões de referencia padronizados pela norma ISO-945. Porém existem outras normas de classificação como, por exemplo, a ASTM A842-85 e a JIS G550. Todas estas normas, de modo geral, estão dentro de um mesmo padrão que caracteriza o ferro fundido nodular pela presença de pelo menos 80% das partículas de grafita em formato nodular e esferoidal.

2.2.1 Fabricação do ferro fundido nodular

Para obter o ferro fundido nodular utiliza-se como metal base ou metal de origem, um ferro com composição química que se iguala ao ferro fundido cinzento comum ou com baixo teor de liga. (CHIAVERINI, 1986)

O magnésio adicionado junto com a liga age como um inibidor do processo de grafitização, desta maneira o ferro fundido solidifica tendo a formação de cementita. Esta cementita entra em estado de decomposição após a ação do magnésio, com isso começa a existir a formação de grafita que já se assemelha ao formato esférico esperado.

É de extrema importância que haja um alto controle da constituição do metal líquido, pois é dele que irá se conseguir peças com microestruturas possíveis de garantir aplicações de alta responsabilidade.

Conforme citado por Francklin (2009), as taxas de resfriamento e o tempo de solidificação são fatores que merecem muita atenção, para assim aumentar a garantia de qualidade do metal sólido.

Os estudos para melhorar o processo de obtenção do ferro nodular foram se desenvolvendo junto com a necessidade das indústrias de trabalhar com este e outros materiais.

2.2.2 Propriedades do ferro fundido nodular

A norma NBR 6916/1981, fornece valores de limite de resistência, limite de escoamento, alongamento, dureza e de qual

a microestrutura predominante em determinada classe de ferro fundido nodular.

A classificação dos ferros nodulares por esta norma é feita da seguinte maneira: utilizam-se FE para a designação ferro esferoidal, em seguida utiliza-se o número correspondente ao limite de resistência à tração e após esse então se deve colocar o valor correspondente ao alongamento do ferro.

Na Tabela 1 pode-se ver a classificação de alguns ferros pela norma ABNT e as propriedades dos mesmos.

Tabela 1 – Classes de ferros fundidos nodulares previstas na Norma ABNT NBR 6916/1981

Classe	Limite de Resistência (LR) (MPa)	Limite de Escoamento (LE) (MPa)	Alongamento (A) (%)	Dureza Brinell (HB)	Microestrutura predominante
FE 38012	380	240	12	140 - 180	Ferrítica
FE 45012	450	280	12	150 - 200	Ferrítica - Perlítica
FE 50007	500	350	7	170 - 240	Ferrítica - Perlítica
FE 60003	600	400	3	210 - 280	Perlítica
FE 70002	700	450	2	230 - 300	Perlítica
FE 80002	800	550	2	240 - 312	Perlítica
FE 38017 RI	380	240	17	140 - 180	Ferrítica

Fonte: Adaptado de Guesser (2009)

As propriedades apresentadas na Tabela 1 permitem que estes ferros possam ser utilizados em aplicações de maior responsabilidade, competindo desta maneira com grande parte dos aços-carbono sem elemento de liga (FRANCKLIN, 2009).

De acordo com Lopes (2009), o ferro fundido nodular tem como principais aplicações peças para a indústria automotiva, como por exemplo, virabrequins e peças para suspensão. Também se utiliza o ferro fundido nodular em aplicações onde as peças possuem tolerância dimensional elevada. Chiaverini (1986) aponta como aplicações gerais o uso em peças para compressores, bielas, lingoteiras e demais peças que necessitem de uma maior resistência a impacto e pressão, onde alguns

exemplos seriam virabrequins, mancais, polias, engrenagens, tambores de freios, entre outras peças diversas.

Na Tabela 2 pode-se ver algumas das principais aplicações do ferro fundido nodular e qual a classe de ferro que melhor atende a mesma.

Tabela 2 – Aplicações dos ferros fundidos nodulares por classe

Classe	Aplicação
FE 38017	Fundidos submetidos à pressão, corpos de válvulas e de bombas, mecanismos de direção, flanges
FE 42012	Fundidos para máquinas submetidas a cargas de choque e fadiga, discos de freio
FE 50007	Girabrequins e engrenagens
FE 60003	Engrenagens de alta resistência, componentes de máquinas, peças automotivas
FE 70002	Engrenagens de alta resistência, componentes de máquinas, peças automotivas
FE 80002	Pinhões, engrenagens, trilhos

Fonte: Francklin (2009)

A norma NBR 8650/1984 define composições para atingir as classes de cada ferro fundido nodular que estão listadas na Tabela 1.

2.2.3 Ferro Fundido Nodular FE45012

O ferro fundido nodular FE45012, de acordo com a NBR, possui limite de resistência à tração de 450MPa e pode ter até 12% de alongamento.

Assim como os demais materiais da classe dos ferros fundidos nodulares, o FE 45012 têm diversas aplicações, dentre as quais são possíveis citar a fabricação de discos e tambores para freios de automóveis, componentes para bombas de pressão e componentes para a estrutura de motores elétricos. (XAVIER, 2003)

A fabricação dos componentes citados requer um conhecimento também na usinagem deste material, que vem a ser diretriz para este trabalho. O ferro fundido FE45012 é um ferro dúctil e, portanto não possui grande quantidade de perlita. Sendo assim a usinagem deste material é facilitada já que a perlita aumenta a dureza do ferro. (FRANCKLIN, 2009)

O ferro nodular é comparado com o ferro cinzento, onde na usinagem do ferro cinzento têm-se cavacos curtos devido aos flocos de grafita que facilitam a quebra do cavaco. Já o ferro nodular além de proporcionar cavacos mais longos, por ser um material com poucas regiões de perlita e com grafitas nodulares que geram poucos pontos de cisalhamento, ainda tende a garantir uma maior vida útil da ferramenta de corte, isto claro se utilizada com parâmetros corretos.

2.3 FERRAMENTAS DE CORTE

De acordo com Xavier (2003), é necessário que se conheça o que é uma ferramenta de corte, os materiais com os quais são fabricados, os ângulos, formatos, tamanhos e demais características possíveis de se ter em uma ferramenta.

As ferramentas de corte são utilizadas para a remoção de material nos mais diversos processos de usinagem. Estes processos permitem grandes variações nos tipos de materiais a serem usinados, materiais estes que podem ter maior dureza, gerando a necessidade de ferramentas que atendam as usinagens de materiais endurecidos conforme destacam Muller e Soto (2004).

Esse tipo de usinagem exige das ferramentas elevada resistência mecânica, térmica e ao desgaste para que suportem as altas forças de corte. Isso só se alcança com sucesso construindo-se ferramentas específicas, que consideram todos os fatores, como macrogeometrias e microgeometrias, tipo de substrato, cobertura da ferramenta e tudo em relação à aplicação em particular. (MULLER E SOTO, 2004, pg. 1).

2.3.1 Materiais para ferramentas de corte

Os principais materiais utilizados para a fabricação de ferramentas de corte são de acordo com Machado et. al. (2009), os seguintes: aços carbono e aços ligados, aços rápidos, aços rápidos revestidos, metal duro, cermets, cerâmicas, metal duro, nitreto cúbico de boro, e diamante sintetizado.

Ferramentas de corte de aço rápido e de aços ferramenta estão cada vez em menor utilização devido aos avanços na fabricação das pastilhas de material sintetizado, como é o caso das pastilhas de metal duro, cerâmicas, cermets, diamante e nitreto cúbico de boro (CBN). (XAVIER, 2003)

2.3.1.1 Ferramenta de metal duro

O metal duro foi o segundo material a impulsionar a área da usinagem, fato este que aconteceu por volta de 1920, pois aumentou em cerca de dez vezes a velocidade de corte em relação ao aço rápido que era anteriormente o material mais utilizado e que foi o pioneiro nos avanços da usinagem. (MACHADO, 2009).

Os materiais utilizados para confecção do metal duro sofreram mudanças ao longo tempo, pois originalmente o metal duro continha carboneto tungstênio (WC) e Cobalto (Co), e hoje já existem pastilhas com adição de carboneto de titânio (TiC) e carboneto de tântalo (TaC).

Estas diversas combinações possíveis, impulsionou a necessidade de criar uma classificação para a aplicação das pastilhas de metal duro.

Machado et. al. (2009), apresenta a Norma ISO 513 (2004) como norma para esta classificação. No Anexo A pode-se ver a classificação dos metais duros segundo a Norma ISO 513 (2004), dentre elas a classe K é a indicada para a usinagem de ferro fundido cinzento, ferro fundido esferoidal e ferro fundido maleável.

2.4 CONTROLES

Os controles dimensionais e geométricos são necessários para garantir que as peças sejam fabricadas o mais próximo possível do dimensional projetado. Isto porque, de acordo com Guimarães (1999), não é possível obter exatamente as dimensões que são projetadas, já que os processos sempre possuem variações para mais ou para menos.

Sabendo-se disto define-se um valor mínimo necessário para se atender durante o processo. Estes valores mínimos são conhecidos a partir do momento que se criam tolerâncias para os dimensionais, que serão controladas por diversos equipamentos. Para controle das dimensões podem-se utilizar calibradores do tipo passa-não-passa, paquímetros, micrometros, entre outros.

Já para atender as tolerâncias geométricas, são necessários instrumentos mais simples como, por exemplo, esquadros, régua de fio, pentes de raio e rosca, etc., ou então se pode utilizar, por exemplo, uma máquina de medição tridimensional. Este tipo de equipamento permite verificar através de pontos qual a forma apresentada pela peça, sendo possível ver então erros de forma que fogem ao olho nu. (GUIMARÃES, 1999)

Um controle geométrico que é de grande importância é o acabamento das superfícies. Os processos de fabricação deixam erros micrométricos na superfície das peças, erros esses que podem prejudicar a função da peça em questão. Estes erros são conhecidos como rugosidade, que será comentada a seguir por ser um parâmetro de controle para a execução deste trabalho.

2.4.1 Rugosidade

Rosa (2009) define rugosidade como um conjunto de irregularidades que existem em determinada superfície.

O conjunto de irregularidades finas ou de erros microgeométricos de uma superfície que sofreu ação de algum processo de corte é denominado como rugosidade. Essas ações podem ser marcas deixadas pelo avanço utilizado, por arestas postiças que possam ter sido geradas ou devido a desgastes da ferramenta de corte. (MACHADO, 2009)

A rugosidade é formada por marcas provenientes do processo de fabricação, tais como ranhuras, sulcos, estrias, escamas e crateras, ou por modificações na superfície por ação química ou corrosão. As ranhuras e sulcos são provenientes de marcas da ferramenta durante o avanço ou posicionamento da peça no processo de usinagem. As estrias e escamas formam-se na usinagem durante a retirada do cavaco. (GUIMARÃES, 1999, pg. 86)

A rugosidade é um fator que serve de referência para verificar a necessidade de alteração nos parâmetros que se está utilizando na usinagem. Baseado em experiências, Ferraresi (1970) afirma que realizar a usinagem de materiais diferentes com os mesmos parâmetros, máquinas, ferramentas e condições de usinagem acarretará em superfícies com diferentes rugosidades.

Pode ser encontrada a partir da medição dos vales e picos encontrados na superfície da peça. O parâmetro de rugosidade mais comumente utilizado é a rugosidade média R_a . Porém, existem outros parâmetros de rugosidade que podem ser facilmente medidos com o uso do rugosímetro, são eles a rugosidade máxima (R_y), rugosidade total (R_t), rugosidade média quadrática (R_q), amplitude máxima de perfil por comprimento de medição (R_z), número de picos (R_{Pc}) e largura média dos elementos do perfil (R_{Sm}).

2.4.1.1 Rugosidade média

A rugosidade média é um parâmetro definido como a média aritmética dos valores absolutos das distancias do perfil real ao perfil médio. Os valores de R_a são dados em micrometros. (MACHADO et. al. 2009)

A Figura 6, mostra um esquema dos picos e vales que podem ser encontrados na superfície de uma peça e a linha de onde se encontra a média de sua rugosidade.

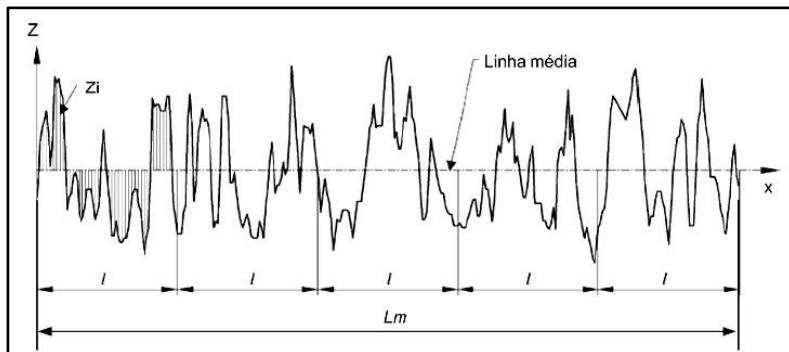


Figura 6 – Rugosidade média.

Fonte: Brunetti (2008)

A rugosidade média calculada pelo rugosímetro é obtida conforme Equação 3.

$$Ra = \frac{A}{Lm} \quad (3)$$

Onde:

A - Média da soma das áreas acima e abaixo da linha média (μm);

Lm - Comprimento analisado para a obtenção de A (mm);

Ra – Rugosidade média (μm)

Mas também, de acordo com Machado et.al. (2009) pode ser calculada conforme a Equação 4, com o intuito de prever os valores que podem ser conseguidos ao realizar certa usinagem. Porém esta equação nos fornece os valores em milímetros, portanto, conforme Equação 5 se faz necessário prever a multiplicação do valor encontrado por mil para que assim possamos trabalhar com os resultados em micrometros.

$$Ra = \frac{f^2}{31,2r} \quad (4)$$

$$Ra = \frac{f^2}{31,2r} \cdot 1000 \quad (5)$$

Onde:

Ra = rugosidade média (μm)

f = avanço (mm/rev)

r = raio de ponta da ferramenta (mm)

2.4.1.2 Rugosidade máxima

A rugosidade máxima (R_y) é caracterizada como sendo o maior valor encontrado entre os cinco comprimentos medidos, trata-se da maior distância entre um pico e um vale dentro de um dos comprimentos da medição. (ROSA, 2009)

Podem-se estimar os valores de R_y de modo teórico, para tal Machado et.al. (2009) fornece a Equação 6, porém esta nos fornece o R_y em milímetros então conforme mostrado por Souza et. al. (2011) na Equação 7 deve-se multiplicar por mil visando adequar o resultado para micrometros.

$$R_y = \frac{f^2}{8r} \quad (6)$$

$$R_y = \frac{f^2}{8r} \cdot 1000 \quad (7)$$

Onde:

R_y = rugosidade máxima (μm);

f = avanço (mm/rev);

r = raio de ponta da ferramenta (mm);

2.4.1.3 Rugosidade total

Já a rugosidade total (R_t) se refere ao somatório do maior pico com o maior vale dentro do comprimento total de medição. (MACHADO, 2009)

Os parâmetros R_t e R_y podem ser iguais desde que o maior vale e o maior pico estejam dentro do mesmo comprimento de amostragem.

2.4.1.4 Desvio médio quadrático

O parâmetro de desvio médio quadrático (R_q) é definido como a raiz quadrada da média dos quadrados das amplitudes do perfil em relação à linha média, oferecendo uma medida do desvio padrão dos dados analisados. (MACHADO, 2009, pg. 50)

A rugosidade média quadrática pode ser prevista utilizando uma relação com o parâmetro R_a conforme Equação 8.

$$R_q = R_a \cdot 1,11 \quad (8)$$

Onde:

R_q – Rugosidade média quadrática (μm);

R_a – Rugosidade média (μm);

2.4.1.5 Amplitude máxima de perfil por comprimento de medição

Machado et. al. (2009) cita o parâmetro R_z como sendo a média das alturas máximas R_y detectadas em cada comprimento de amostragem.

2.4.1.6 Número de picos

O número de picos encontrados em um comprimento amostral de medição é dado pelo parâmetro RP_c . Os dados de saída normalmente são em picos por milímetros, mas alguns equipamentos fornecem em picos por centímetro. (BRUNETTI, 2008 *apud* GADELMAWLA, 2002)

2.4.1.7 Largura média dos elementos do perfil

Conforme Machado (2009, pg. 54) “os parâmetros de espaçamento médio são definidos como a distância média ou a

largura média entre elementos de perfil que interceptam a linha média”. Este parâmetro é representado por RSm.

Machado et.al. (2009) comenta que os dados encontrados com as equações de rugosidades teóricas, apesar de indicativos, não devem ser tomados como verdade absoluta, já que na prática existem outros fatores que podem influenciar na rugosidade, como por exemplo, a vibração e o desgaste da ferramenta.

2.4.2 Rugosímetro

Para obter os parâmetros de rugosidade comentados, usa-se microscópio ou rugosímetro, sendo que este último tem maior praticidade por se tratar de um equipamento portátil.

O rugosímetro possui uma ponta de diamante que percorre a superfície da peça gerando uma trajetória linear. Esta trajetória considera apenas os desvios de rugosidade que são medidos dentro de um pequeno comprimento, que serve de amostragem, denominado *cut-off*, desconsiderando as ondulações e outros desvios macroscópicos. (GUIMARÃES, 1999)

O *cut-off* pode ser definido pela rugosidade que se pretende avaliar, conhecido como método aperiódico, ou pela distância entre os sulcos deixados pelo avanço da ferramenta, método periódico. A Tabela 3 mostra o *cut-off* recomendado de acordo com a Ra que se pretende verificar. (MITUTOYO SUL AMERICANA, 2013).

Tabela 3 – Valores recomendados para *cut-off*

Rugosidade Ra (μm)	Cut-off (mm)
Menor ou igual a 0,1	0,25
Maior que 0,1 a 2	0,8
Maior que 2 a 10	2,5
Maior que 10	8

Fonte: Adaptado de Mitutoyo Sul Americana (2013)

A ponta que fica em contato com a peça normalmente é fabricada de diamante industrial. Esta ponta possui dimensões oferecidas pelos fabricantes com raios na faixa de micrometros. Um exemplo pode ser visto na Figura 7, onde o fabricante Mitutoyo especifica raio de 5 μ m para o seu equipamento.

Medidor de Rugosidade		
"Surftest SJ-201P / M / S" "Surftest SJ-301"		
Série 178		
Especificações		
Modelo	SJ-201 P	SJ-301
Código	178-923-2A	178-953-3A
Capacidade		
eixo Z	350 μ m	
eixo X	12,5 mm	
Unidade acionadora		
Velocidade	Medição: 0,25 mm/s; 0,5 mm/s Retorno: 0,8 mm/s	Medição: 0,25 mm/s; 0,5 mm/s Retorno: 1,0 mm/s
Comprimento do cabo	1 m	
Peso	190 g	
Ponta padrão (178-390)		
Método de medição	Indutivo diferencial	
Capacidade	350 μ m	
Tipo de ponta	Diamante	
Raio	5 μ m	

Figura 7 – Raio de ponta especificado para o rugosímetro Surftest SJ-201P/M/S Surftest SJ-301 da fabricante Mitutoyo
Fonte: Mitutoyo Sul Americana (2013)

2.4.3 Estatística

“A Estatística é uma parte da matemática que fornece métodos para a coleta, organização, descrição, análise e interpretação de dados, viabilizando a utilização dos mesmos na tomada de decisões”. (CORREA, 2003)

2.4.3.1 Análise de variância (ANOVA)

Para este trabalho utilizaremos a análise de variância ANOVA, do inglês *analysis of variance*. ANOVA é aplicada neste trabalho por meio do uso do *software* Minitab, que realiza as comparações das amostras utilizadas.

As comparações realizadas pelo método de ANOVA possibilitam descobrir se existe diferença em um grupo de amostras. (COSTA NETO, 1977)

A confiabilidade do teste pode ser alterada, porém comumente se utiliza índice de confiabilidade 95%.

2.4.3.2 Teste de Tukey

O teste de Tukey pode ser utilizado para comparar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamentos. É o método de comparação de média mais utilizado pelo fato de possuir maior rigorosidade e ser de fácil aplicação. (MARTINEZ E FERREIRA, 2007)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos testes fez-se o uso de ferro fundido nodular classe FE45012 conforme norma ABNT NBR 6916. Este ferro tem limite de resistência à tração de 45 kgf/mm² e uma capacidade de alongamento de 12%.

Foram usinadas as peças necessárias obedecendo as seguintes dimensões: no mínimo 8 mm de comprimento necessário para a fixação da peça na placa do torno CNC e aproximadamente 22 mm de comprimento para ser usinado conforme mostrado na Figura 8, o suficiente para que fossem usinados 20 mm e com o rugosímetro pudessem ser realizadas as cinco medições referentes ao *cut-off* de cinco vezes 2,5mm.

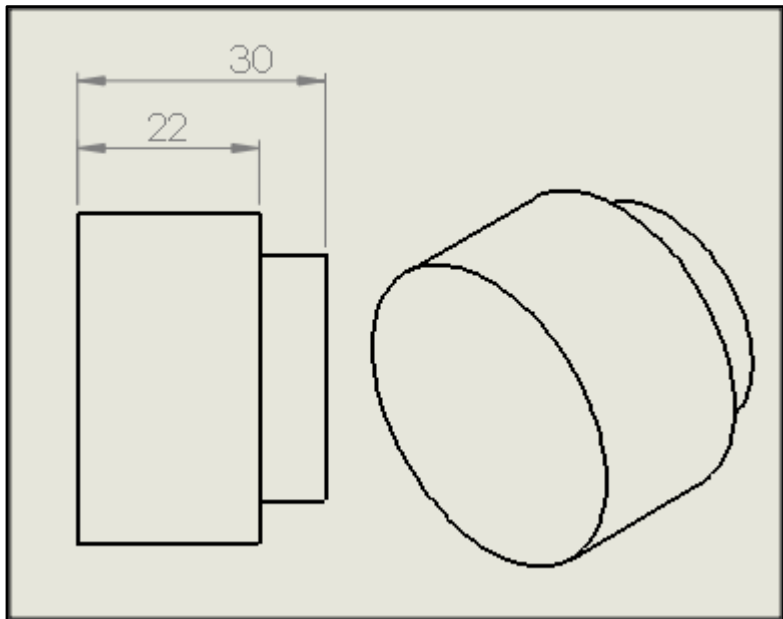


Figura 8 – Peça de teste
Fonte: Autor (2013)

Para o torneamento cilíndrico das peças de testes utilizou-se torno com comando numérico computadorizado da marca Romi, modelo GL240, conforme Figura 9. Este utiliza comando FANUC.



Figura 9 – Torno Romi GL240
Fonte: ROMI (2013)

A ferramenta definida foi uma pastilha de metal duro classe K, que é a indicada para a usinagem de ferro fundido, com descrição TNMG 160412 TF IC8150 da marca Iscar com raio de ponta de 1,2 mm. Não se fez uso de fluido de corte com o intuito de gerar uma operação de usinagem mais agressiva.

As usinagens foram realizadas no Laboratório de Usinagem do Campus Jaraguá do Sul – Geraldo Werninghaus do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC).

Foi definido como premissa trabalhar com três valores de profundidade de corte e para cada um desses valores criar dois grupos alterando o avanço. Para cada grupo constituído por um valor de profundidade de corte e avanço foram realizadas três usinagens. Totalizando dezoito peças de prova, com aproximadamente 30 mm de comprimento cada peça. Em cada peça sendo realizadas cinco medições totaliza 15 medições para cada combinação. Podem-se visualizar as combinações na Figura 10.

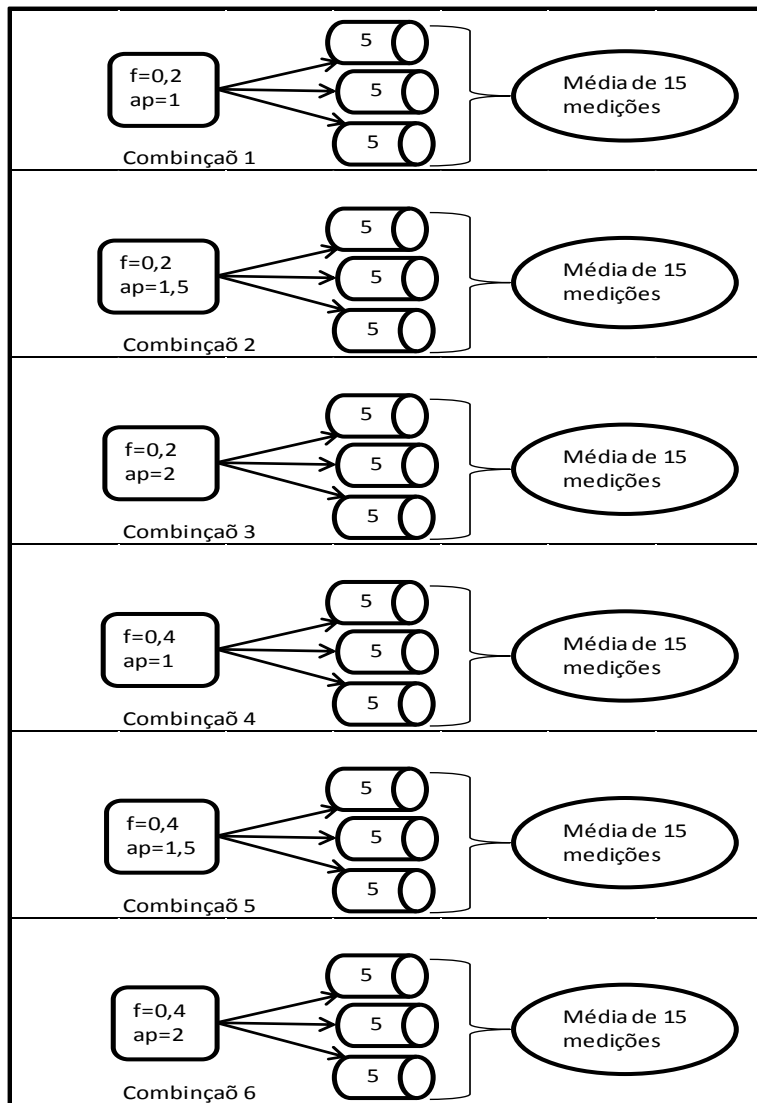


Figura 10 – Combinações para os testes

Fonte: Autor (2013)

As variáveis utilizadas podem ser mais bem visualizadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Variáveis

Profundidade de corte 1	1mm
Profundidade de corte 2	1,5mm
Profundidade de corte 3	2mm
Velocidade de avanço 1	0,2mm/min
Velocidade de avanço 2	0,4mm/min

Fonte: Autor (2013)

Uma das premissas para realizar as usinagens foi fixar a velocidade de corte, dado este extraído do catálogo do fabricante. Sendo assim, foi utilizado velocidade de corte de 200m/min conforme Figura 11.

Nº Material	Carboneto + CVD			Cerâmica			Cerâmica+ CVD	CBN	
	IC5005	IC5010	IC8150	IN11	IN23	IS6	IS8	IB90/85	IB50
15	160 - 300	160 - 300	140 - 280		150 - 400	500 - 900	80 - 300		200 - 400
16	140 - 280	140 - 280	120 - 240		100 - 350	500 - 900	50 - 250		150 - 350
17	350 - 700	300 - 600	250 - 350	300 - 800	300 - 600	500 - 1200	300 - 1000	400 - 100	
18	300 - 600	250 - 500	200 - 300	200 - 600	200 - 500	500 - 1200	250 - 800	300 - 800	
19	200 - 350	250 - 400	180 - 320						350 - 500
20	180 - 280	200 - 320	150 - 250						150 - 400

Figura 11 – Velocidade de corte de acordo com o catálogo Iscar

Fonte: Adaptado de Iscar (2013)

Os programas para a usinagem destas peças não tem grande complexidade e podem ser feitos diretamente no painel da máquina. A diferença entre os programas foi apenas a alteração dos valores de profundidade de corte e/ou avanço.

Para as medições da rugosidade utilizou-se um rugosímetro da marca TESA Technology, modelo Rugosurf 20 com apalpador mecânico e ponta de contato de diamante industrial. Este rugosímetro pode ser visto na Figura 12.



Figura 12 – Rugosímetro Tesa Rugosurf 20
Fonte: Tesa Technology (2013)

O acabamento superficial das peças de teste foi avaliado principalmente através do parâmetro R_a , R_y e R_q que foram comparados com os valores teóricos de rugosidade calculados. Porém, também foram analisados os parâmetros R_t , R_z , R_{Sm} e R_{Pc} com o intuito de verificar qual a tendência de variação destes parâmetros quando alteradas as variáveis.

Os valores teóricos para cada grupo de peças podem ser vistos na Tabela 5. Estes valores foram calculados com utilizando as equações 4, 6 e 7.

É possível verificar que os valores teóricos se repetem, porém é facilmente explicado pelo fato do cálculo não contemplar alguns dados que podem ter influência sobre os valores medidos. Para minimizar as influências no acabamento superficial real, foi adotado como método utilizar aresta de corte nova para cada usinagem realizada.

Tabela 5 – Valores teóricos para Ra, Ry, e Rq

Valores teóricos					
Combinação	Ap (mm)	f(mm/rev)	Ra (μm) teórico	Rq (μm) teórico	Ry (μm) teórico
1	Ap 1	f 0,2	1,068376	1,185897	4,166667
2	Ap 1	f 0,4	4,273504	4,74359	16,66667
3	Ap 1,5	f 0,2	1,068376	1,185897	4,166667
4	Ap 1,5	f 0,4	4,273504	4,74359	16,66667
5	Ap 2	f 0,2	1,068376	1,185897	4,166667
6	Ap 2	f 0,4	4,273504	4,74359	16,66667

Fonte: Autor (2013)

Na Figura 13 podem ser vistos os valores teóricos por grupo representados em gráfico.

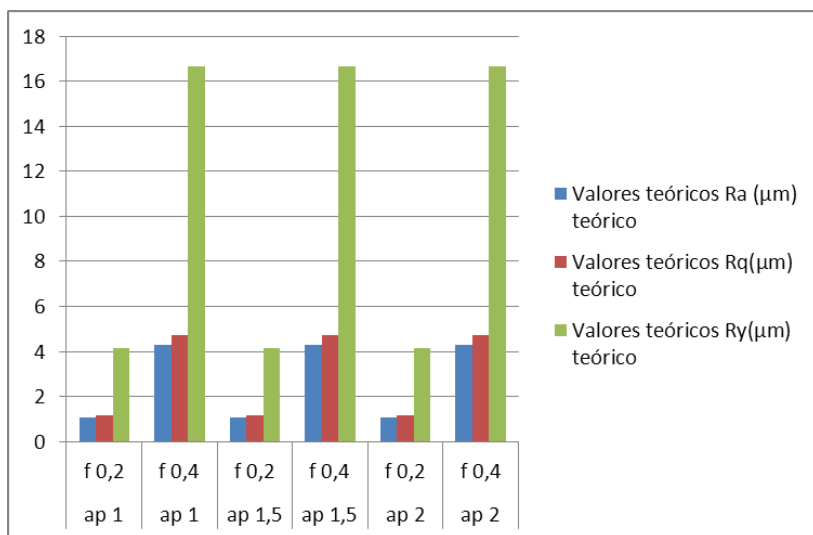


Figura 13 – Gráfico valores teóricos

Fonte: Autor (2013)

Os valores medidos dos parâmetros de rugosidade de cada peça foram obtidos através da média de cinco medições realizadas paralelamente ao eixo das peças.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os dados analisados são sete parâmetros de rugosidade registrados através das medições feitas com o rugosímetro. Destes, três foram calculados antecipadamente com as equações apresentadas por Machado et. al. (2009) e Souza et. al. (2011), visando comparar e relacionar os valores encontrados com os calculados.

De acordo com os cálculos realizados, o maior avanço deve proporcionar um aumento nos parâmetros Ra, Ry e conseqüentemente para Rq, já que a equação do mesmo é dependente de Ra. A profundidade de corte não é levada em consideração no cálculo e, portanto não tem influência nos valores de rugosidade calculados.

4.1 ANÁLISE DO PARÂMETRO Ra

No gráfico da Figura 14 faz-se uma comparação entre os valores teóricos e medidos do parâmetro Ra divididos conforme combinações da Figura 10.

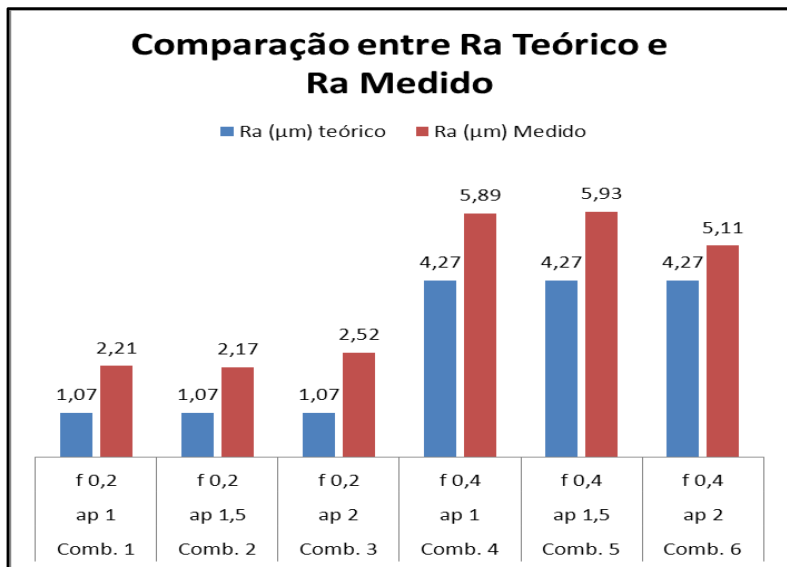


Figura 14 – Comparação entre Ra teórico e medido
Fonte: Autor (2013)

Fica evidente que as peças usinadas com avanço de 0,4 mm/rev ficaram com maior rugosidade, confirmando o verificado nos cálculos. Porém para confirmar o que se verifica na Figura 14 e descobrir se os valores calculados e medidos realmente são diferentes, foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA).

A Análise de Variância foi realizada utilizando nível de significância 0,05 (5%), o que significa um nível de confiança na análise de 95%. Estes valores serão utilizados em todas as aplicações de ANOVA no decorrer do trabalho.

Os resultados encontrados da Análise de Variância são apresentados na Figura 15. Nesta figura analisa-se o valor P, conforme indicado por Costa Neto (1977), sendo este menor que o valor P teórico ($0,000 < 0,05$) significa que há diferença entre as combinações.

ANOVA fator único:					
Fonte	DF	SS	MS	F	P
Fator	11	566,8144	51,5286	1612,43	0,000
Erro	168	5,3688	0,0320		
Total	179	572,1832			

Figura 15 – ANOVA para valores de Ra medidos e teóricos
Fonte: Autor (2013)

Sabendo-se que existe diferença verificou-se quais combinações diferem entre si, para tal foi aplicado o teste estatístico de Tukey, com auxílio do software estatístico Minitab. Este teste foi utilizado na análise de todos os parâmetros que apresentaram diferença nas amostras. Para Ra os resultados são apresentados na Figura 16.

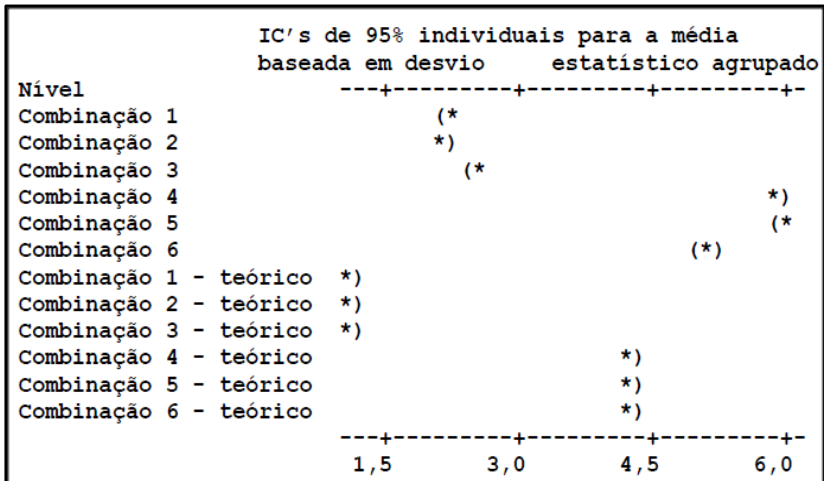


Figura 16 – Teste de Tukey para valores de Ra medidos e teóricos
Fonte: Autor (2013)

Com o teste de Tukey verifica-se que os valores teóricos ficaram distantes entre si quando as combinações são agrupadas por avanço utilizado. Mantendo-se o agrupamento por avanço utilizado pode-se ver que os valores calculados diferem significativamente dos medidos, sendo que os medidos possuem rugosidades maiores.

Para uma análise apenas dos valores medidos percebemos o seguinte: sendo que nas combinações 1, 2 e 3, foi utilizado o mesmo avanço (0,2mm/rev), percebeu-se que quando se variou a profundidade entre 1 mm e 1,5mm, não houve diferença significativa entre as combinações. Houve diferença neste caso, quando variou-se a profundidade para 2 mm, porém esta diferença foi pequena a ponto de quase se igualar às combinações 1 e 2.

Nas combinações 4, 5 e 6 o avanço é igual (0,4mm/rev), e quando variou-se a profundidade de corte de 1 mm para 1,5mm não houve diferença na rugosidade, porém a combinação 6 que possui profundidade de corte de 2 mm apresentou uma redução significativa na rugosidade.

Quando se isola as combinações em grupos divididos pelo avanço empregado percebe-se que existe diferença significativa entre o maior valor do grupo de avanço 0,2mm/rev para o menor valor do grupo de avanço 0,4mm/rev.

4.2 ANÁLISE DO PARÂMETRO Rq

Para a análise da rugosidade média quadrática, de acordo com a Equação 7, a tendência é de que os valores sigam o mesmo padrão do verificado para a rugosidade média. Pode-se perceber na Figura 17 que para a situação analisada esta tendência não se confirma, pois neste caso a combinação 2 possui um resultado maior do que a combinação 1.

Da mesma forma como no parâmetro Ra, percebe-se que as combinações que possuem avanço de 0,4mm/rev possuem valores maiores se comparados as combinações com avanço 0,2mm/rev.

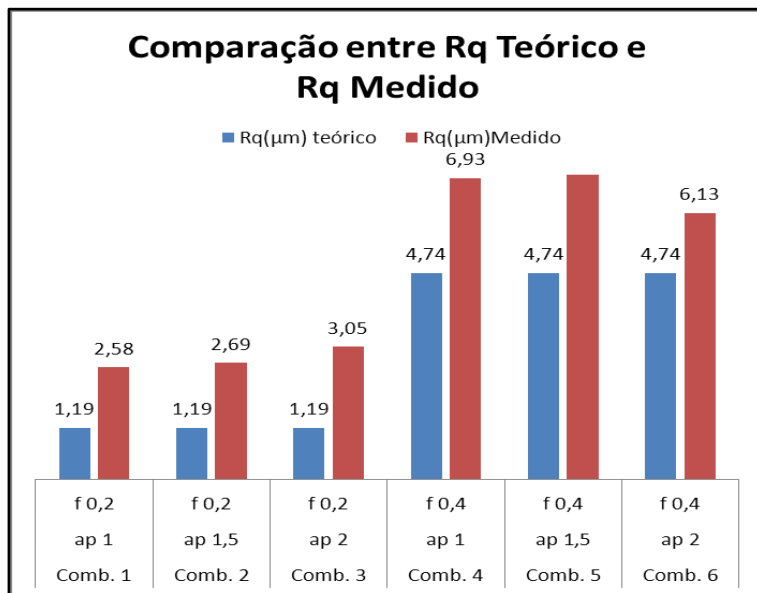


Figura 17 – Comparação entre Rq teórico e medido
Fonte: Autor (2013)

Com a Análise de Variância da Figura 18, pode-se ver pelo valor P que pelo menos uma amostra difere das demais. Assim, com o teste de Tukey da Figura 19 analisa-se qual é esta diferença.

ANOVA fator único:

Fonte	DF	SS	MS	F	P
Fator	11	779,8247	70,8932	1165,65	0,000
Erro	168	10,2175	0,0608		
Total	179	790,0422			

Figura 18 - ANOVA para valores de Rq medidos e teóricos
Fonte: Autor (2013)

Nível	IC's de 95% individuais para a média			
	baseada em desvio	estatístico agrupado		
	-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+			
Combinação 1		(*)		
Combinação 2		(*)		
Combinação 3		(*)		
Combinação 4		(*)		
Combinação 5		(*)		
Combinação 6		(*)		
Combinação 1 - teórico	(*)			
Combinação 2 - teórico	(*)			
Combinação 3 - teórico	(*)			
Combinação 4 - teórico		(*)		
Combinação 5 - teórico		(*)		
Combinação 6 - teórico		(*)		
	-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+			
	1,6	3,2	4,8	6,4

Figura 19 - Teste de Tukey para valores de Rq medidos e teóricos
Fonte: Autor (2013)

Percebe-se diferença significativa para os valores teóricos somente realizando uma separação das combinações pelo avanço utilizado. Assim as combinações 4, 5 e 6 apresentaram maior rugosidade.

Comparando os valores medidos tem-se maior rugosidade para as combinações que possuem avanço de 0,4mm/rev, assim como aconteceu para os valores teóricos.

As combinações 1, 2 e 3 são iguais, mostrando que variar profundidade de corte para avanço de 0,2mm/rev não causou diferença significativa no parâmetro Rq.

As combinações 4 e 5 também são iguais, porém para a combinação 6 a alteração da profundidade de corte para 2mm causou uma redução na rugosidade das peças.

4.3 ANÁLISE DO PARÂMETRO Ry

Na Figura 20 pode-se verificar a maior rugosidade para as combinações que utilizam avanço de 0,4mm/rev. O teste de ANOVA pode ser visualizado na Figura 21, e o teste de Tukey na Figura 22.

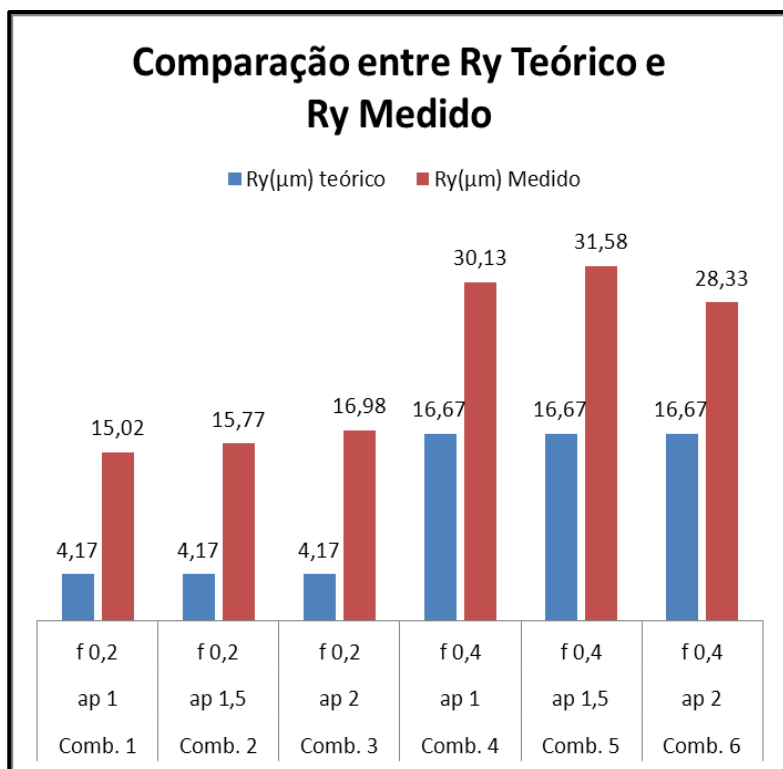


Figura 20 – Comparação entre Ry teórico e medido
Fonte: Autor (2013)

ANOVA fator único:					
Fonte	DF	SS	MS	F	P
Fator	11	15182,62	1380,24	651,16	0,000
Erro	168	356,10	2,12		
Total	179	15538,72			

Figura 21 - ANOVA para valores de Ry medidos e teóricos
Fonte: Autor (2013)

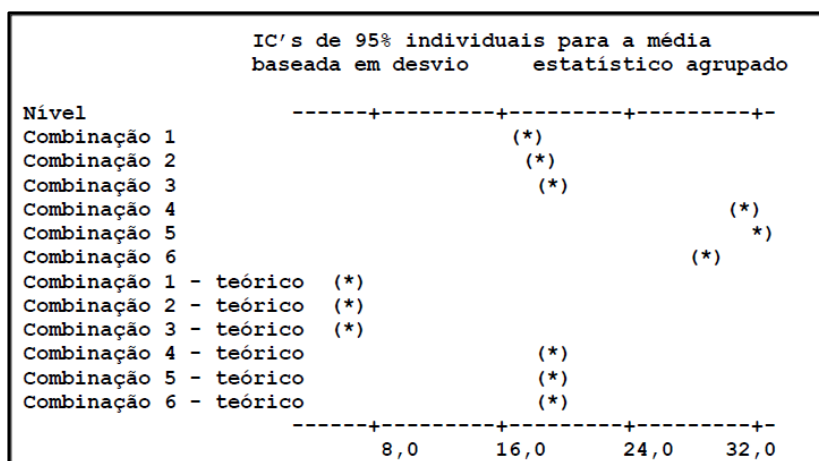


Figura 22 - Teste de Tukey para valores de Ry medidos e teóricos
Fonte: Autor (2013)

Neste parâmetro as combinações 1, 2 e 3 possuem valores iguais e a combinação 6 possui uma rugosidade menor para os valores medidos se comparado às combinações 4 e 5.

Para os valores teóricos as combinações 1, 2 e 3 formam um grupo e as combinações 4, 5 e 6 formam outro grupo, onde realizando uma comparação entre esses grupos percebe-se diferença significativa, sendo este último o de maior rugosidade.

4.4 ANÁLISE DO PARÂMETRO R_t

Uma diferença entre este parâmetro e os já analisados anteriormente, é o fato de que este não possui valores oriundos de cálculos, portanto a comparação com valores teóricos não

será possível para este parâmetro. Esta mesma situação se repetirá para os parâmetros Rz, RSm e R_{Pc}.

Para R_t tem-se o gráfico da Figura 23, onde pode-se visualizar os valores das combinações 4, 5 e 6 maiores do que as combinações 1, 2 e 3.

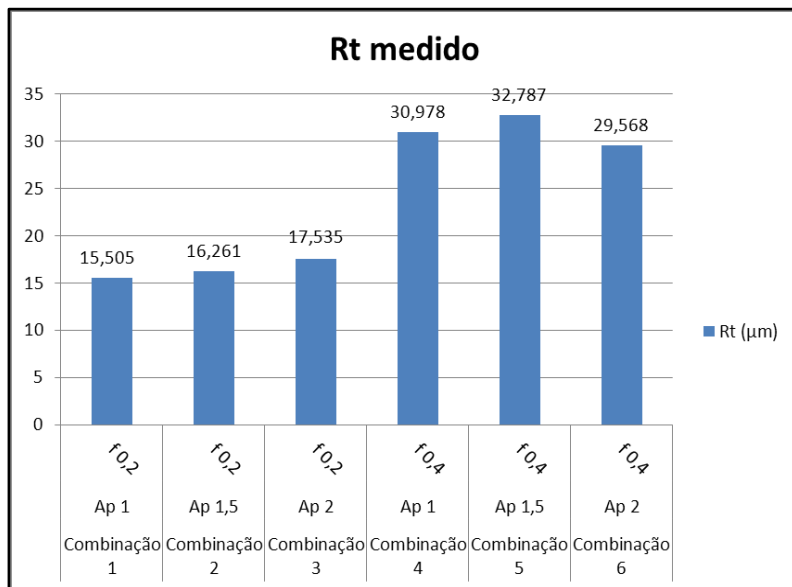


Figura 23 – Gráfico de R_t medido

Fonte: Autor (2013)

Na Figura 24, se vê através do valor P que existe diferença significativa entre as amostras. Estas diferenças são expostas na Figura 25.

ANOVA fator único:

Fonte	DF	SS	MS	F	P
Fator	5	4939,51	987,90	245,35	0,000
Erro	84	338,23	4,03		
Total	89	5277,74			

Figura 24 - ANOVA para valores de R_t medidos

Fonte: Autor (2013)

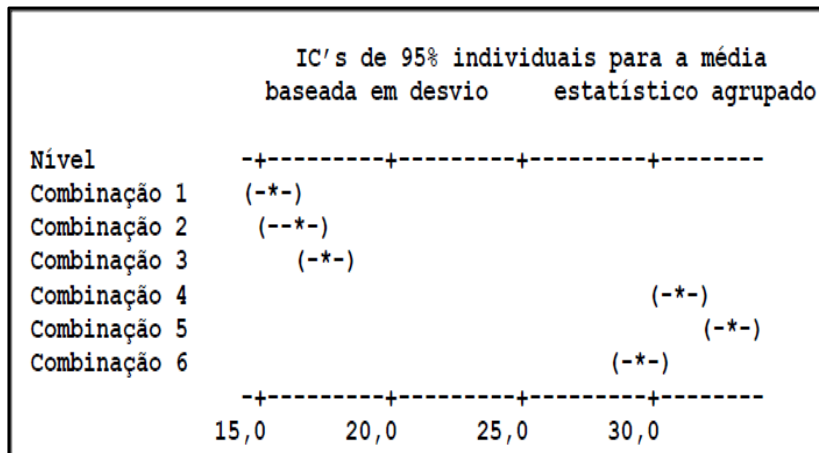


Figura 25 - Teste de Tukey para valores de R_t medidos
Fonte: Autor (2013)

Neste caso as combinações 1, 2 e 3 apresentam igualdade entre seus valores, mostrando que a rugosidade não é influenciada pela profundidade de corte para avanço de 0,2mm/rev.

Comparando as combinações 4, 5 e 6 tem-se uma redução da rugosidade para a combinação 6, porém ela pode ser considerada igual à combinação 5 devido a sobreposição entre seus desvios.

Como nos parâmetros anteriores existe grande diferença nas amostras quanto à variação do avanço.

4.5 ANÁLISE DO PARÂMETRO R_z

Percebe-se na Figura 26, que as combinações 4, 5 e 6 apresentaram maior valor de rugosidade.

Analisando-se o valor P na Figura 27, vemos que existem diferenças significativas entre as amostras.

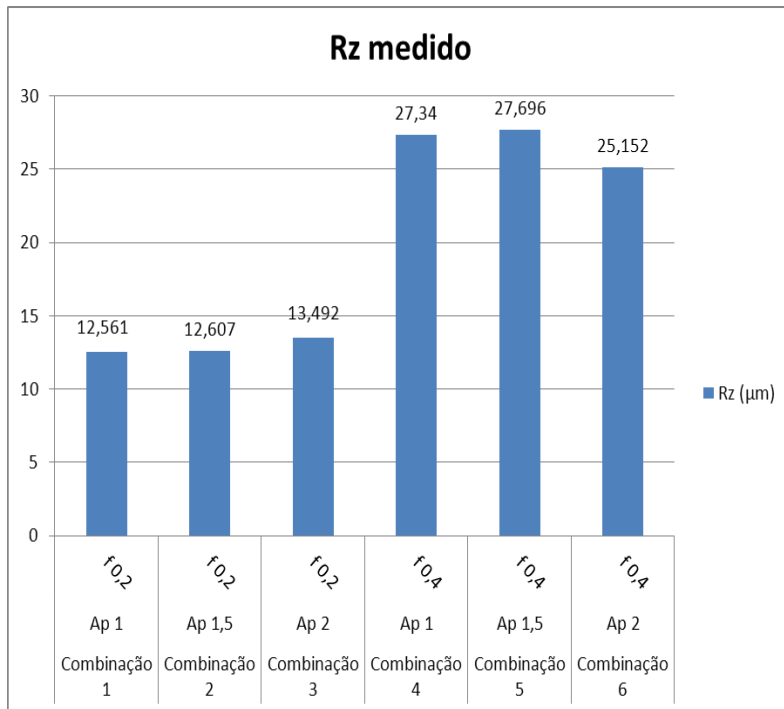


Figura 26 – Gráfico de Rz medido
Fonte: Autor (2013)

ANOVA fator único:

Fonte	DF	SS	MS	F	P
Fator	5	4376,49	875,30	699,95	0,000
Erro	84	105,04	1,25		
Total	89	4481,53			

Figura 27 - ANOVA para valores de Rz medidos
Fonte: Autor (2013)

Estas diferenças podem ser visualizadas no resultado do teste de Tukey da Figura 28.

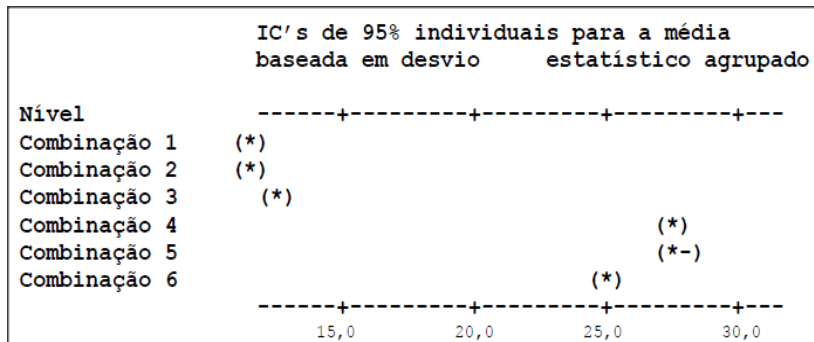


Figura 28 - Teste de Tukey para valores de Rz medidos
Fonte: Autor (2013)

Por esta análise verifica-se que as combinações 1, 2 e 3, que contém avanço de 0,2mm/rev não tiveram diferença significativa entre si. Porém se destacam com diferença das combinações 4, 5 e 6, que por sua vez são pertencentes ao grupo de combinações com avanço de 0,4mm/rev. Deste grupo, as combinações 4 e 5 tem valores iguais, enquanto a combinação 6 apresentou menor rugosidade neste grupo.

4.6 ANÁLISE DO PARÂMETRO RSm

Fez-se a análise para este parâmetro com o uso da análise de variância, de acordo com a Figura 29, para verificar se a diferença entre os resultados medidos vistos na Figura 30 realmente possui diferença significativa.

ANOVA fator único:

Fonte	DF	SS	MS	F	P
Fator	5	678456	135691	73,95	0,000
Erro	84	154141	1835		
Total	89	832597			

Figura 29 - ANOVA para valores de RSm medidos
Fonte: Autor (2013)

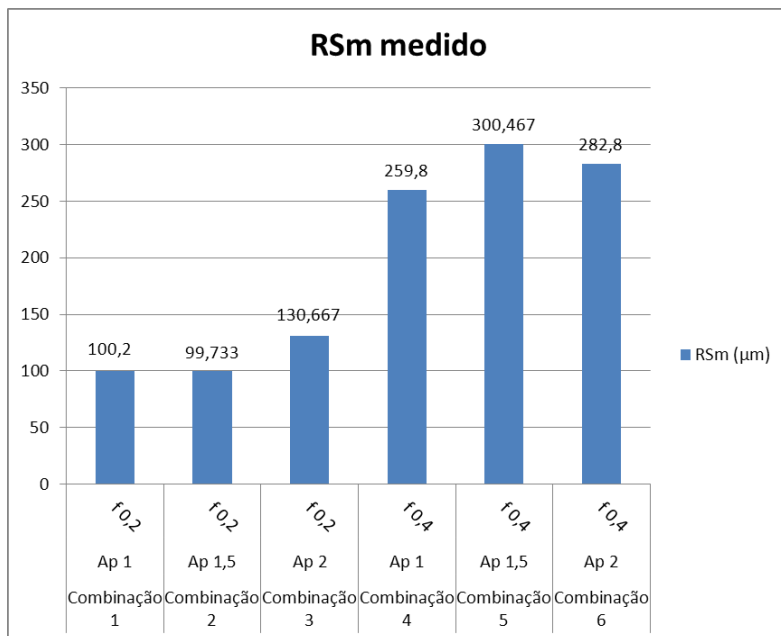


Figura 30 – Gráfico de RSm medido
Fonte: Autor (2013)

O resultado do teste de Tukey pode ser verificado na Figura 31.

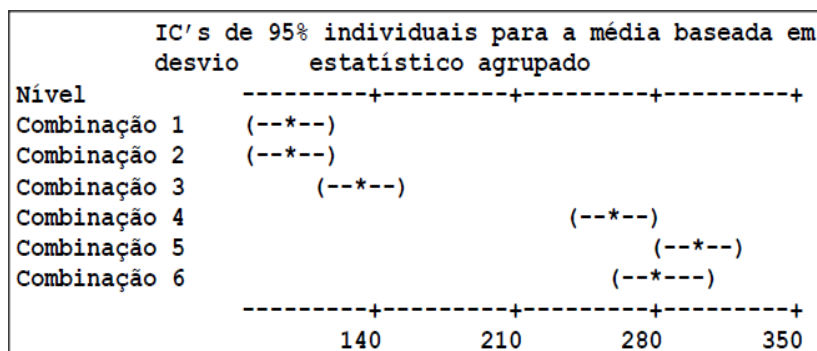


Figura 31 - Teste de Tukey para valores de RSm medidos
Fonte: Autor (2013)

Para este parâmetro percebe-se que temos apenas uma diferença significativa entre as amostras, sendo esta entre as combinações que possuem avanço 0,2mm/rev e as combinações que possuem 0,4mm/rev de avanço.

As combinações dentro de cada grupo se apresentam com igualdade de valores.

4.7 ANÁLISE DO PARÂMETRO RPc

Este parâmetro possui uma diferença dos demais, pois neste caso maiores números significam menores rugosidades, isto porque este parâmetro determina o número de picos por centímetro. (MACHADO et. al., 2009)

Percebe-se na Figura 32, que as combinações 4, 5 e 6 apresentam maior rugosidade do que as demais. Na Figura 33 pode-se ver que realmente existe diferença entre as amostras.

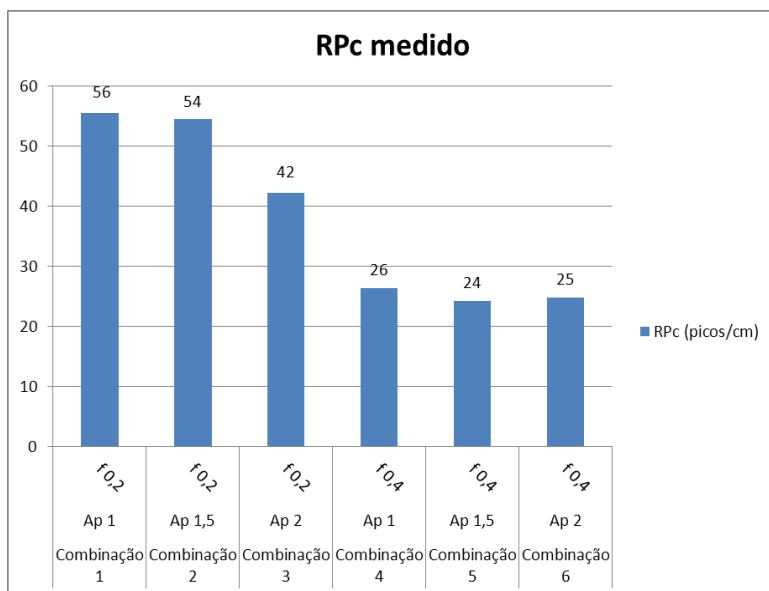


Figura 32 – Gráfico de RPc medido
Fonte: Autor (2013)

ANOVA fator único:					
Fonte	DF	SS	MS	F	P
Fator	5	16463,1	3292,6	193,61	0,000
Erro	84	1428,5	17,0		
Total	89	17891,6			

Figura 33 - ANOVA para valores de RPC medidos
Fonte: Autor (2013)

As diferenças entre as amostras podem ser visualizadas no resultado do teste de Tukey, de acordo com a Figura 34. Neste teste pode-se perceber três grupos de amostras divididos em ordem crescente de rugosidade, sendo o primeiro a igualdade entre as combinações 1 e 2, o segundo a combinação 3 isolada e por último a igualdade entre as combinações 4, 5 e 6.

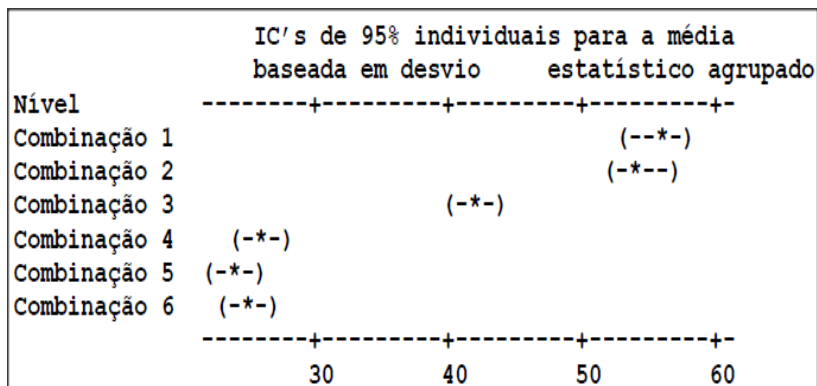


Figura 34 - Teste de Tukey para valores de RPC medidos
Fonte: Autor (2013)

Na Tabela 6, pode-se ver uma relação entre os resultados encontrados e os valores calculados. É perceptível que quanto maior é o valor do avanço, mais o resultado teórico fica próximo do real.

Tabela 6 – Relação do resultado medido pelo teórico

Parâmetros		Relação		
$f(mm/rev)$	$ap(mm)$	Ra	Rq	Ry medido / Ry teórico
		medido / Ra teórico	medido / Rq teórico	
0,2	ap=1	2,1	2,2	3,6
0,4		1,4	1,5	1,8
0,2	ap=1,5	2,0	2,3	3,8
0,4		1,4	1,5	1,9
0,2	ap=2	2,4	2,6	4,1
0,4		1,2	1,3	1,7

Fonte: Autor (2013)

Para as condições de usinagem que se igualarem as condições analisadas neste trabalho, deixa-se como sugestão adicionar às equações de Ra e Ry teóricos os valores conforme descritos na Tabela 7. Estes valores são originados da média entre as relações encontradas para cada condição analisada, porém deixando-os divididos pelo avanço utilizado. Rq não está incluso nesta tabela, pois como seu resultado depende de Ra , então a correção já acontecerá no cálculo deste.

Tabela 7 – Valores sugeridos para correção das equações de Ra e Ry teóricos

$f(mm/rev)$	Valores p / correção	
	Ra	Ry
0,2	2,2	3,8
0,4	1,3	1,8

Fonte: Autor (2013)

Desta forma pode-se estimar com maior proximidade os parâmetros Ra e Ry, utilizando as Equações 9, 10, 11, e 12. Porém estas equações propostas são válidas apenas para situações de usinagem semelhantes a estas nos quais se pretende utilizar os mesmos valores de avanço utilizados neste trabalho. Abaixo equações para usinagens com avanço 0,2mm/rev.

$$Ra = \frac{f^2}{31,2r} \cdot 1000 \cdot 2,2 \quad (9)$$

Onde:

Ra = rugosidade média (μm)

f = avanço (mm/rev)

r = raio de ponta da ferramenta (mm)

$$Ry = \frac{f^2}{8r} \cdot 1000 \cdot 3,8 \quad (10)$$

Onde:

Ry = rugosidade máxima (μm);

f = avanço (mm/rev);

r = raio de ponta da ferramenta (mm);

Abaixo equações para usinagens com avanço 0,4mm/rev.

$$Ra = \frac{f^2}{31,2r} \cdot 1000 \cdot 1,3 \quad (11)$$

Onde:

Ra = rugosidade média (μm)

f = avanço (mm/rev)

r = raio de ponta da ferramenta (mm)

$$Ry = \frac{f^2}{8r} \cdot 1000 \cdot 1,8 \quad (12)$$

Onde:

Ry = rugosidade máxima (μm);

f = avanço (mm/rev);

r = raio de ponta da ferramenta (mm);

CONCLUSÃO

Para os dados calculados percebe-se grande diferença nas amostras se comparados aos valores medidos, possibilitando que seja realizada uma análise para propor a adaptação das fórmulas utilizadas.

Em todas as situações analisadas neste trabalho percebemos através dos testes de Tukey que as amostras se dividiram em dois grupos. Sendo que esses grupos caracterizaram-se por cada um possuir um valor de avanço distinto. Sendo assim, existe diferença entre os grupos e sabe-se que esta diferença foi determinada por uma variação no avanço.

Notando a existência destes grupos, faz-se importante realizar uma análise para verificar as diferenças dentro de cada grupo.

As combinações 1, 2 e 3 formam um grupo caracterizado pelo avanço de 0,2mm/rev. Para este existiu na maioria dos casos a igualdade entre as amostras.

Para o grupo que possui avanço 0,4mm/rev foi possível perceber uma pequena redução no valor da rugosidade superficial nas peças usinadas com profundidade de corte de 2 mm.

Com as afirmações acima se pode concluir o seguinte: aumentar ou diminuir a profundidade de corte no torneamento cilíndrico não caracteriza uma mudança significativa na rugosidade superficial das peças em ferro fundido ABNT FE45012.

O mesmo não se pode dizer do valor de avanço, pois, o valor de avanço empregado influencia diretamente na rugosidade superficial das peças.

Sendo assim, diante da necessidade de atender a uma exigência de projeto, sabe-se que para um maior valor de rugosidade é necessário que o avanço utilizado aumente e para casos em que a rugosidade for menor, então a máquina deve trabalhar com avanço reduzido.

PROPOSTA DE TRABALHO

Diante dos dados analisados e de situações que surgiram no decorrer do desenvolvimento, propõem-se desenvolver equações para os parâmetros que ainda não as possuem.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 4287: Especificação Geométrica do Produto (GPS) - Rugosidade: Método do Perfil – Termos, definições e parâmetros da rugosidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/82481797/Nbr-Iso-4287-2002-Especificacoes-Geometric-As-Do-Produto-Gps-Rugosidade-Metodo-Do-Perfil-1>>. Acesso em: 16 nov. 2013.

BRASSINTER (São Paulo). **Pastilhas de Torneamento: Divisão Metal Duro**. Disponível em: <http://www.brassinter.com.br/downloads/pastilhas_torneamento.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2013.

BRUNETTI, Cristiano. **Efeito da Preparação de Corpos-de-Prova na Vida em Fadiga de Contato de Rolamento de Ferro Fundido Nodular Austemperado**. 2008. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Departamento de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

CAVACO, Marco Antônio Martins. **Metrologia**. Disponível em: <http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema092/Documentos/AP_OSTILA_PARTE_II.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2013.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica: Materiais de Construção Mecânica**. 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1986. 388 p.

CORREA, SONIA MARIA Barros Barbosa. **Probabilidade e Estatística**. 2. Ed. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003.

COSTA NETO, Pedro Luiz de Oliveira. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 264 p.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 14. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1970. 751 p.

FRANCKLIN, Alexandre Reis. **UM BREVE ESTUDO SOBRE FERRO FUNDIDO NODULAR**. Rio de Janeiro: Uezo, 2009. 23 p. Disponível em: <<http://www.uezo.rj.gov.br/tccs/capi/AlexandreFrancklin.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2013.

GONÇALVES, Daniel Amoretti. **Modelagem e Simulação das Forças no Brochamento**. 2010. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92798/275843.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 nov. 2013.

GUESSER, Wilson Luiz. **Propriedades Mecânicas dos Ferros Fundidos**. São Paulo: Editora Blucher, 2009. 336 p.

GUIMARÃES, Vagner Alves. **Controle Dimensional e Geométrico: Uma Introdução a Metrologia Industrial**. Passo Fundo: Editora UPF, 1999. 159 p.

ISCAR (Tefen). **Ferramentas de Usinagem de Metais. Turning and Threading Tools**. Disponível em: <<http://www.iscardobrasil.com.br/catalogs.aspx/CountryId/4>>. Acesso em: 17 nov. 2013.

LOPES, Clarissa Lussoli. **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS TEMPERATURAS DE AUSTENITIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO FERRO NODULAR AUSTEMPERADO A PARTIR DA ZONA CRÍTICA**. 2009. 112 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Udesc, Joinville, 2009. Disponível em: <http://www.tede.udesc.br/tde_busca/processaPesquisa.php?listaDetalhes%5B%5D=713&processar=Processar>. Acesso em: 06 set. 2013.

MACHADO, Adriane. **Avaliação da Rugosidade em Superfícies Complexas**. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Instituto

Superior Tupy, Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville, 2009.

MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2009. 371 p.

MARTINEZ, Luis Frutuoso e FERREIRA, Aristides Isidoro. **Análise de Dados com SPSS**. Lisboa: Ed. Escolar, 2007.

MENDONÇA, Rodrigo Luiz. **Determinação das Constantes da Força de Kienzle Para Sua Aplicação no Modelo Dinâmico do Processo de Torno-Brochamento**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. 42 p.

Metalúrgica MARKO (Porto Alegre). **Perguntas Frequentes**: Pode-se substituir o aço 1020 ou 1045 por ferro fundido? Qual é o tipo mais indicado?. Disponível em: <<http://www.metalmarko.com.br/perguntas.html>>. Acesso em: 24 nov. 2013.

MITUTOYO SUL AMERICANA (São Paulo). **Medições de Rugosidade, Forma e Perfil**: SJ-301. Disponível em: <<http://www.mitutoyo.com.br/produtos/rugoperforma/pdf/rugop2.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2013.

_____. **Medições de Rugosidade, Forma e Perfil**: SJ-401. Disponível em: <<http://www.mitutoyo.com.br/produtos/rugoperforma/pdf/rugop3.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2013.

_____. **Rugosidade Superficial**: Análise do Parâmetro Ra. Disponível em: <<http://www.mitutoyo.com.br/noticias/pdf/mn40.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2013.

MÜLLER, Peter; SOTO, Marcos. **Ferramentas para a usinagem de peças endurecidas**. (2004). Disponível em: <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/312->

ferramentas-para-a-usinagem-de-pecas-endurecidas/>. Acesso em: 15 nov. 2013.

PARETO, Luis. **Tecnologia Mecânica**. Barcelona: Hemus, 2003. 171 p. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=dekRZQlxryQC&pg=PA106&dq=velocidade+de+corte&hl=pt-BR&sa=X&ei=DPxBUs3iHJHm8wTG1YCgBg&ved=0CEAQ6AEwAw#v=onepage&q=velocidade%20de%20corte&f=false>>. Acesso em: 24 set. 2013.

PAULINO, Jorge Fernando de Figueiredo. **Processo para obtenção de um eixo perfilado executado em torno paralelo universal**. Rio de Janeiro: Universidade Gama Filho, 2013. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAOV0AC/processo-obtencao-eixo-perfilado-executado-torno-paralelo-universal>>. Acesso em: 19 set. 2013.

QINGDAO CASTING QUALITY INDUSTRIAL CO. LTD. (Berlim). **International Standard**: Professional Suppler of Casting Part. Disponível em: <<http://www.castingquality.com/wp-content/uploads/2009/08/din-1693.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2013.

ROMI (Santa Bárbara do Oeste). **Centro de Torneamento**. Disponível em: <http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/Catalogos/Portugues/cat_romi_GL_240_po_ab.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2013.

ROSA, Luiz Carlos. **Acabamento de Superfícies: Rugosidade Superficial**. Sorocaba: Universidade Estadual Paulista, 2009. 14 p.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. Belo Horizonte: Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 2002. 265p.

SANDVIK COROMANT (São Paulo). **Desgaste nas arestas de corte**. Disponível em: <http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/materials/cutting_tool_materials/wear_on_cutting_edges/pages/default.aspx>. Acesso em: 15 nov. 2013.

SILVA, Sidnei Domingues da. **CNC Programação de Comandos Numéricos Computadorizados**: Torneamento. 8. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2011. 308 p.

SOUZA, Marcos de et al. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PASTILHAS DE METAL DURO WIPER E STANDARD NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DE FERRO FUNDIDO NODULAR**. Joinville: Cobef, 2011. 8 p. Disponível em: <<http://alvarestech.com/temp/cobef2011/grima.ufsc.br/cobef2011/media/trabalhos/COF11-0436.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2013.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de Corte I.7**. ed. Florianópolis: Editora da Ufsc, 2007. 249 p.

TESA TECHNOLOGY (Renens). **Tesa Rugosurf 20**: Surface Roughness Test. Disponível em: <http://www.tesabs.ch/multimedia/docs/2011/05/PR_Rugosurf_20_EN_.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2013.

VICTOR HOGAN (São José dos Pinhais). Normatic Tratamentos Térmicos Ltda (Org.). **Ferro Fundido Nodular Austemperado**. Disponível em: <http://www.normatic.com.br/noticias_view.php?id=10>. Acesso em: 24 nov. 2013.

WITTE, Horst. **Máquinas Ferramenta**: Elementos Básicos de Máquinas e Técnicas de Construção. 7. ed. Würzburg: Hemus, 1998. 395 p.

XAVIER, Fábio Antônio. **ASPECTOS TECNOLÓGICOS DO TORNEAMENTO DO FERRO FUNDIDO VERMICULAR COM FERRAMENTAS DE METAL-DURO, CERÂMICA E CBN**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. 146 p.

ANEXOS

Anexo A - Principais classes de insertos de metal duro para ferro fundido nodular

Principais classes			Classes de aplicação			
Letra de identificação	Cor de identificação	Materiais a serem usinados	Metais duros			
P	Azul	Aços: Todos os tipos de aços e aços fundidos, exceto aços inoxidáveis com estrutura austenítica	P01	P05	↑	↓
			P10	P15		
			P20	P25		
			P30	P35		
			P40	P45		
			P50			
M	Amarelo	Aço inoxidável: aço inoxidável austenítico e aço duplex (austenítico/ferrítico) e aço fundido	M01	M05	↑	↓
			M10	M15		
			M20	M25		
			M30	M35		
			M40			
K	Vermelho	Ferro fundido: Ferro fundido cinzento, ferro fundido com grafita esferoidal, ferro fundido maleável	K01	K05	↑	↓
			K10	K15		
			K20	K25		
			K30	K35		
			K40			
N	Verde	Metais não ferrosos: Alumínio e outros metais não ferrosos, materiais não metálicos	N01	N05	↑	↓
			N10	N15		
			N20	N25		
			N30			
S	Marrom	Superligas e titânio: Ligas especiais resistentes ao calor à base de ferro, níquel e cobalto, titânio e ligas de titânio	S01	S05	↑	↓
			S10	S15		
			S20	S25		
			S30			
H	Cinza	Materiais duros: Aços endurecidos, ferros fundidos endurecidos, ferros fundidos resfriados	H01	H05	↑	↓
			H10	H15		
			H20	H25		
			H30			

a – Aumento da velocidade de corte, aumento da resistência ao desgaste do material da ferramenta.
b – Aumento do avanço, aumento da tenacidade do material da ferramenta.

Fonte: Machado et. al. 2009