

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS

DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR

KARLA MONIQUE CRUZ BERNARDINO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO RAIO DE PONTA DE UMA
FERRAMENTA NA RUGOSIDADE DE UM TORNEAMENTO
DE AÇO 1045.**

MANAUS

2016

KARLA MONIQUE CRUZ BERNARDINO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO RAIOS DE PONTA DE UMA
FERRAMENTA NA RUGOSIDADE DE UM TORNEAMENTO
DE AÇO 1045.**

Monografia apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, como requisito parcial, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Prof. Msc Alberto de Castro Monteiro

Manaus-AM

2016

Ata de Defesa de Trabalho Final de Graduação do (a) acadêmico (a)
 KARLA MONIQUE CRUZ BERNARDINO sobre o tema:
 "ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO RAIOS DE PONTA DE UMA
 FERRAMENTA NA RUGOSIDADE DE UM TORNEAMENTO
 DE AÇO1045."

Aos sete dias do mês de dezembro de
 Dois mil e dezesseis, às 19:45h na sala _____ do corredor da Sete de Setembro do Instituto Federal
 de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM, realizou-se a Defesa Pública do Trabalho de
 Conclusão de Curso - TCC da formanda: **KARLA MONIQUE CRUZ BERNARDINO**, intitulada:
 "ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO RAIOS DE PONTA DE UMA FERRAMENTA NA RUGOSIDADE
 DE UM TORNEAMENTO DE AÇO1045" A composição da Banca Examinadora contou com o Prof^o MSc.
 Alberto de Castro Monteiro, orientador e presidente da mesma, Prof^o MSc Sávio Raider Matos Sarkis,
 examinador e Prof^o MSc. Carlos José Batista Machado, examinador. A presidência da mesa deu início aos
 trabalhos, seguindo metodologia apropriada, após a apresentação, a Banca Examinadora se reuniu para
 análise, deliberação e divulgação de nota atribuída ao Trabalho, solicitando inserção e remoção de dados. A
 sessão foi encerrada às 20:25 horas. O Prof^o Alberto de Castro Monteiro, coordenador do Curso de
 Engenharia Mecânica do IFAM, lavrou a presente ata, que depois de lida e aprovada, foi assinada por mim,
 pelos membros da Banca Examinadora e formanda **KARLA MONIQUE CRUZ BERNARDINO** a
 quem foi conferido o mérito de aprovada no Trabalho de Conclusão de Curso – TCC de Engenharia Mecânica.
 Manaus, sete de dezembro de dois mil e dezesseis.

Orientador (a): _____

Examinador (a): _____

Examinador (a): _____

Formando (a): Karla Monique Cruz Bernardino

Secretário (a): _____

Sumário

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 15 |
| 2. | OBJETIVO DO TRABALHO | 16 |
| 2.1. | Objetivo Geral | 16 |
| 2.2. | Objetivo específico | 16 |
| 3. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 3.1. | Usinagem | 17 |
| 3.2. | Grandezas de corte no Torneamento | 19 |
| 3.3. | Controle numérico e Torno CNC | 20 |
| 3.4. | Aço SAE 1045 | 24 |
| 3.5. | Rugosidade | 24 |
| 3.5.1 | <i>Rugosidade Superficial</i> | 27 |
| 3.6. | Ferramenta de corte | 32 |
| 3.6.1 | <i>Geometria e raio de ferramenta</i> | 33 |
| 4. | MATERIAIS E MÉTODOS | 36 |
| 4.1. | Material ensaiado | 36 |
| 4.2. | Corpos de prova | 37 |
| 4.3. | Parâmetros de corte | 37 |
| 4.3.1 | <i>Escolhas dos raios de pastilha</i> | 38 |
| 4.3.2 | <i>Escolha dos V_c e cálculo de RPM para os insertos</i> | 38 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3.3. Escolha do avanço para cada inserto | 39 |
| 4.4. Equipamentos | 40 |
| 4.5. Procedimentos | 41 |
| 4.5.1. Medição da Rugosidade (Ra) | 43 |
| 5. Resultados e discussões | 44 |
| 5.1. Rugosidade superficial em comparação com teórica | 44 |
| 5.2. Rugosidade superficial comparando-se os raios. | 46 |
| 6. CONCLUSÃO | 49 |
| 6.1. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA | 50 |

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às minhas mães, Alcilene Monica Cruz Nunes e Tilza Marques, meus grandes exemplos na vida, sempre me influenciaram na escolha dos meus objetivos e estiveram ao meu lado nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por toda bondade, por permitir minhas realizações e conquistas em toda minha trajetória nesses anos.

Agradeço ao meu orientador Alberto de Castro Monteiro, que teve um desempenho em todo esse trabalho e me direcionou aos caminhos que estava buscando.

Agradeço a todos do IFAM que estiveram ao meu lado, meus amigos de aula: Ana minha eterna companheira de mecânica, Erasmo, Brasil, Felipe, Aparecido e até mesmo aqueles que não finalizaram esse caminho Lucas e Antenor e meus professores que contribuíram significativamente para cada momento final destes.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre influência do raio de pastilha na usinagem do aço 1045 e tem como objetivo realizar estudo teórico sobre usinagem e seus parâmetros que influenciam na rugosidade, bem como as condições de usinagem devido a condições de corte e máquinas e equipamentos e suas evoluções ao longo da tecnologia. Todos esses fatores contribuem para diferentes efeitos na qualidade da superfície de um processo de usinagem, há diversas formas de quantificar e qualificar essas diferentes alterações que também serão explicitadas no estudo teórico.

Os equipamentos e a história da evolução processo de torneamento ajudam a entender como a foram permitindo o controle desses dados e os estudos dos mesmos para melhoria dos processos produtivos, além de como foram ficando cada vez mais exigentes o bem final do cliente. As normalizações de usinagem também foram se adequando as exigências das indústrias.

Este trabalho analisa a rugosidade de superfícies usinadas no torneamento cilíndrico, realizando um estudo sobre os parâmetros: Velocidade de corte (V_c), avanço (f_n) e principalmente analisando a influência do raio de ponta na qualidade final mensurando esses dados e colocando em gráficos para melhor visualização de qual inserto se aplica ao melhor acabamento atendendo ao processo. Ele também realiza uma comparação de rugosidade teórica com a real obtida em ensaios permitindo visualizar a diferença do processo calculado para a prática.

Palavras-chave: Influência, raio de pastilha, usinagem, rugosidade, qualidade final, teórico e prático.

ABSTRACT

This paper presents a study on the influence of pellet radius in steel processing in 1045 and aims to conduct theoretical study of machining and their parameters that influence the roughness and the machining conditions due to its cutting conditions and machinery and equipment and changes along the technology. All these factors contribute to different effects on the surface quality of a machining process, there are several ways to quantify and qualify these different changes that will also be explained in the theoretical study.

The equipment and the history of evolution turning process help to understand how it was allowing the control of these data and studies of the same for improvement of production processes, and they were becoming more demanding and the final customer. The normalization of machining were also suiting the requirements of industries.

This paper analyzes the roughness of machined surfaces in the cylindrical turning, conducting a study on the parameters: Cutting speed (V_c), forward (F_n) and mainly analyzing the influence of tip radius on the final quality measuring that data and putting in graphics for best viewing insert which applies the best view of the finishing process. It also performs a theoretical roughness compared to the actual achieved in assays allowing visualizing the process difference calculated for practice.

Keyword: Influence, insert radius, machining, roughness, final quality, theoretical and practical.

LISTA DE FIGURAS

[Figura 1 – Processo de torneamento sentido de corte](#)

[Figura 2 – Parâmetros de corte e torneamento de superfície cilíndrica](#)

[Figura 3 . Torno CNC ROMI](#)

[Figura 4. Transporte de cavacos](#)

[Figura 5. Magazine de ferramentas](#)

[Figura 6 – Fluido conduzido através do porta ferramentas.](#)

[Figura 7 – Fluido conduzido através de mangueiras flexíveis.](#)

[Figura 8 . Elementos de uma superfície usinada.](#)

[Figura 9 - Diferentes níveis de informação a respeito da integridade superficial de superfícies usinadas](#)

[Figura 10. Definição gráfica do parâmetro Ra](#)

[Figura 11. Desvio médio aritmético Ra.](#)

[Figura 12 – Modelo de rugosidade segundo](#)

[Figura 13 – Superfícies de rugosidade real e efetiva](#)

[Figura 14- Esquema simplificado do cálculo de \$R_a\$.](#)

[Figura 15- Esquema simplificado do cálculo de \$R_a\$.](#)

[Figura 16 – Raio de ponta ferramenta](#)

[Figura 17 – Raio de ponta ferramenta relacionado ao avanço](#)

[Figura 18– Contribuição geométrica de avanço e raio de ponta de ferramenta na rugosidade](#)

[Figura 19 – Corpos de prova usados aço 1045](#)

[Figura 20 - Desenho dos corpos de prova utilizados](#)

[Figura 21 - Desenho dos corpos de prova usinados](#)

[Figura 22 – Pastilha DCMT 11 T3 04-UR](#)

[Figura 23 – Torno Nardini Diplomat](#)

[Figura 24 – Torno Nardini Diplomat](#)

[Figura 25 – Rugosímetro Mitutoyo SJ-210](#)

[Figura 26 – Corpo de prova fixado no torno](#)

[Figura 27- Corpo de prova iniciando a usinagem](#)

[Figura 28- Corpo de prova iniciando a usinagem](#)

[Figura 29- Medição de corpo de prova com Rugosímetro Mitutoyo](#)

[Figura 30 – Rugosidade real e Rugosidade teórica com base nos avanços.](#)

[Figura 31 – Rugosidade real e Rugosidade teórica com base nos avanços.](#)

[Figura 32 – Rugosidade real e Rugosidade teórica com base nos avanços.](#)

[Figura 33 – Rugosidade real e Rugosidade teórica com base nos avanços.](#)

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Composição química do aço ABNT 1045..... | 20 |
| Tabela 2 - Desvios de forma das superfícies técnicas..... | 23 |
| Tabela 4 – Tipo de pastilha usada nos ensaios..... | 34 |
| Tabela 5 – V_C de corte e f_n para a pastilha selecionada R_ϵ 0,4 | 34 |
| Tabela 6 – V_C de corte e f_n para a pastilha selecionada R_ϵ 0,8..... | 35 |
| Tabela 7 – Relação de R_ϵ e f_n | 36 |
| Tabela 8– Rugosidade real e Rugosidade teórica com base nos avanços | 38 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR- Norma Brasileira

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

CNC- Comando Numérico Computadorizado

RPM – Rotações por Minuto

SAE - Society of Automotive Engineers

DIN - Deutsches Institut für Normung ou Instituto Alemão para Normatização

ISO - International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização).

LISTA DE SÍMBOLOS

f - Avanço

V_C - Velocidade de corte

A_P - Profundidade de corte

π - Constante pi

R_a - Rugosidade Média

R_z - Distância máxima pico-vale

R_y - Rugosidade máxima

μm - Microns

R_{ϵ} - Raio de ponta de ferramenta

CVD - Pastilhas com Deposição por Vapor Químico

1. INTRODUÇÃO

A indústria está em constante busca de soluções que visam viabilizar os tempos de processo e manter a qualidade do produto final aliado ao preço incluso para mudanças, com isso estudos para redução de custo interno são realizados. O setor de usinagem ao longo dos anos foi evoluindo para atender o mercado, sendo um dos que mais teve investimentos do setor fabril, estando como exemplo de investimento em máquinas de tecnologia de ponta ou nas ferramentas com suas propriedades cada vez mais voltadas para melhor satisfação do cliente. A presença de distorções dimensionais causadas por acabamentos fora dos padrões especificados acabam causando custos adicionais de retrabalho e assim encarecendo o produto até chegar ao consumidor

Os critérios de usinabilidade devido ao seu grande número variáveis ficarão retidas a rugosidade superficial da peça que é o fator determinante na qualidade do processo indicado. Neste conceito é inserido este estudo da rugosidade em um aço 1045, cujo princípio é a análise do efeito de substituição de insertos de diferentes raios para otimização do processo de usinagem.

Este trabalho abordará uma análise comparativa entre duas ferramentas iguais que diferem apenas no seu raio de corte buscando comparar as superfícies usinadas e o acabamento de cada uma. Para o desenvolvimento da pesquisa foram usinados quatro modelos de corpo de prova idênticos e como parâmetro foi observado a rugosidade do material e seu acabamento final em relação aos parâmetros utilizados, para uma comparação e escolha de qual se aplica melhor ao processo produtivo.

2. OBJETIVO DO TRABALHO

2.1. Objetivo Geral

É realizar uma otimização do acabamento através da análise comparativa de dois diferentes raios de ponta para ferramentas dentro das especificações dadas por fabricantes e verificar qual dos raios apresenta menor rugosidade e comparar com os resultados teóricos com os reais para o processo de torneamento.

2.2. Objetivo específico

O trabalho apresenta as seguintes metas principais:

- Estudar os efeitos da variação do raio da ferramenta e parâmetros de corte na rugosidade da superfície da peça.
- Comparar os resultados de cálculos teóricos e resultados práticos obtidos de medições da rugosidade superficial.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Usinagem

Um processo anterior completamente manual e rudimentar que ao longo dos séculos foi se modernizando, permitindo assim que antes o que era algo de primórdios com técnicas que utilizavam polimentos de pedras para a então fabricação das suas ferramentas. É inegável que o reconhecimento da usinagem seja feito, porque acaba como processo de fabricação mais conhecido, emprega dezenas de milhões de pessoas e que no seu fim transformou cerca de 10% toda sua produção de metais em cavacos (Trent, 1985).

Hoje em dia a usinagem está presente em grande parte das empresas de manufatura e dentro deste cenário a usinagem dos metais não poderia ficar atrás e não se adequar as tecnologias, com isso desenvolvendo constantemente novos métodos de trabalho e pesquisas para este desenvolvimento. Para definições de usinagem podemos citar aquela que confere dimensões, acabamento e até mesmo a combinação desses dois e no fim do processo acaba produzindo cavaco (Ferranesi, 1970), entendendo assim que o objetivo da usinagem é dar forma final a peça e retirando se do material bruto através de ajustes e dimensionamento da máquina e ferramenta de trabalho utilizada (Childs et al, 2000).

As variáveis do processo de entrada podem ser independentes, dependentes e até mesmo a variação das mesmas (Peckner, 1977). Porque para melhor compreensão desse processo precisamos definir as grandezas físicas da operação de corte. A norma NBR 6162- Movimentos e Relações Geométricas na Usinagem dos Metais, com ela podemos relacionar com que terminologia vamos relacionar os parâmetros a serem trabalhados. Quando se inicia a o estudo da usinagem o primeiro passo é definir que grandezas físicas irão influenciar no processo como velocidade, movimentos, direções dos movimentos e também a trajetória da ferramenta (Machado et al, 2009).

Com esses movimentos entre a peça (considerada estacionária) e a ferramenta, temos movimentos:

- Movimentos que causam retirada de cavaco: corte, avanço e efetivo.

- Movimentos que não causam retirada de cavaco: aproximação da ferramenta da peça, movimento de ajuste e movimento de correção.

3.1.2 Torneamento

Dentre os processos de usinagem, destacamos o torneamento que é o processo mecânico destinado a obtenção de superfície em revolução com o auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. No instante que a ocorre a rotação da peça em torno do seu próprio eixo e também da máquina se observa que a ferramenta realiza um deslocamento em uma trajetória coplanar sobre o eixo do referido eixo (Ribeiro, 1996). De todos os processos de usinagem o torneamento pode ser considerado o mais antigo quando comparado ao demais como fresagem, furação entre outros. O desbaste em um torneamento pode ser considerado como ato de aproximar as dimensões finais do projeto da peça e assim por seqüência iniciar então o acabamento.

Quando rotacionamos a peça em torno do seu próprio eixo ela está em movimento de corte e a ferramenta está avançando produzindo assim o avanço. Existem uma infinidade de tipos de tornos, entre eles destaca-se o mais comum utilizado para torneamentos o torno vertical. O Torneamento (figura 1) é a operação de usinagem mais comumente empregada em trabalho de corte de metal, quando variamos posições, movimentos e o formato da ferramenta conseguimos uma infinidade de operações. Enquanto a ferramenta encontra-se presa em um porta-ferramenta, o mesmo move-se em um plano que passa pelo eixo de rotação da peça permitindo assim com a aproximação a retirada de material, o mesmo material é firmemente fixado ao mandril do torno (Trend, 2000).

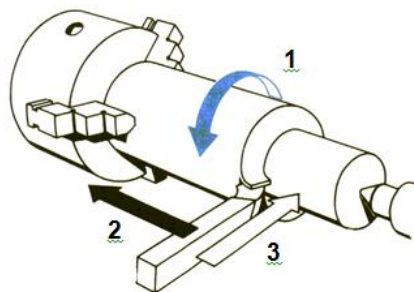


Figura 1 – Processo de torneamento sentido de corte (Apostila processos de fabricação EBAH)

3.2. Grandezas de corte no Torneamento

Todo processo de usinagem existem os fatores que determinam no desempenho final do mesmo, e para o torneamento são significativos no resultado são: geometria da aresta de corte e parâmetros utilizados. Os parâmetros envolvidos na usinagem que irão influenciar o acabamento da peça (ver figura 2) são: avanço (f) que é a distância que a ferramenta se desloca que quando combinado com o movimento de corte realiza a remoção do cavaco, ou ainda a definição mais apropriada que cita que quando medimos perpendicularmente no plano de trabalho e a direção de corte a distância entre superfícies seguidas o resultado dessa medição é o avanço (Diniz, 2003). Semelhante outro parâmetro utilizado é a velocidade de corte (V_C) ou seja a velocidade ideal para que uma ferramenta corte o material através de um movimento circular, para o caso do torneamento. Além desses dois parâmetros temos também a profundidade de corte (A_p) quando medimos perpendicularmente a profundidade de penetração de uma ferramenta em relação ao plano de trabalho. Segundo as normas da ABNT, a profundidade de corte é a espessura de material de material removido da peça, medida na direção de trabalho. A taxa de remoção de material baseia-se no produto desses três parâmetros, e quando é definido a usinabilidade utiliza-se essa taxa para medir a eficiência do processo (Trend, 1989).

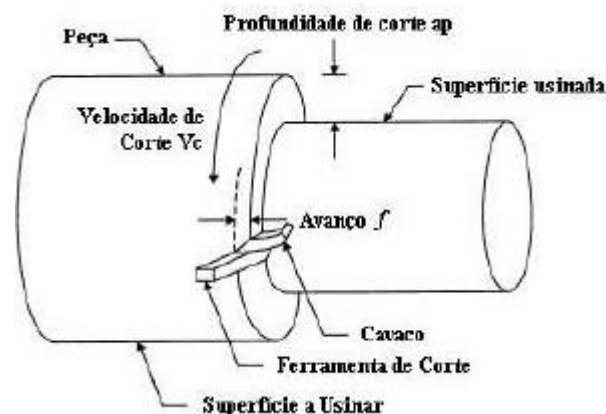


Figura 2 – Parâmetros de corte e torneamento de superfície cilíndrica. (Ferranesi, 1970)

Na determinação de grandezas de corte é necessário de alguns dados da peça para cálculos dos mesmos como Velocidade de corte: V_c

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

Equação 1 – Cálculo de V_c – (Machado et tal, 2009)

Onde d é o diâmetro da peça em mm e n o número de rotações. Além da velocidade de corte, que pode ser obtida por tabelas de fabricantes, podemos calcular também o RPM (Rot/Min), conforme equação 2:

$$n = \frac{vc \times 1000}{d \times \pi}$$

Equação 2 – Cálculo de Rotações/min, RPM. (Apostila Telecurso 2000)

Nesta equação V_c é o cálculo que foi citado anteriormente, d é o *diâmetro* e π é a conhecida constante. Na máquina esses valores se aproximam dos padrões do torno e é escolhido um valor similar dos cálculos. Esses valores são os essenciais para se iniciar um torneamento, com base nos dados padroniza-se as grandezas e parâmetros utilizados.

3.3. Controle numérico e Torno CNC

Com a evolução de todas as operações de usinagem e os processos cada vez mais exigentes, as máquinas ferramentas também foram se adequando a esse novo cenário. Antes todos os processos manuais e agora cada vez mais automatizados deixando manuais apenas os controles e programações das máquinas.

Uma máquina-ferramenta CNC tem uma unidade de comando (local de armazenamento e processamento dos cálculos do sistema) e sua estrutura física ou seja a máquina com seus eixos e mecanismos. Com o surgimento dos sistemas CNC, desde a evolução dos microprocessadores e outros periféricos foi permitido as máquinas a execução e principalmente o armazenamento de comandos de operações. Comando Numérico Computadorizado – CNC além de armazenar informações e dados, é possível realizar operações envolvendo lógica e aritméticas com controle de movimentação e outros aspectos

relacionados com Comandos Numéricos (Rubio, 1992). No processo gerou ganho de tempo em relação a largas produções industriais de lotes das mesmas dimensões, visto que as informações permanecem ali armazenadas.

Os componentes de um torno convencional podem ser citados: cabeçote fixo, árvore, caixa de câmbio, carro porta ferramenta, cabeçote móvel, castanhas. O torno paralelo é o mais comum na indústria mecânica, a versatilidade do torno se mostra na capacidade de realizar várias operações como furar, fresar e até retificar com pequenas adaptações. Mas quando temos peças em grandes lotes ou condições de usinagem mais precisas e que terão que ser controladas ao longo do processo a escolha de um Torno CNC se torna bem conveniente para facilitar esses controles.

O significado CNC é Comando Numérico Computadorizado, o próprio nome é bem sugestivo e está relacionado a máquinas ferramentas que podem ser comandadas por um computador. Na atualidade é muito difícil imaginar uma indústria que não utilize comandos numéricos ou partes mecânicas automatizadas tanto em produção em grande escala como peças não seriadas.

Podemos citar algumas vantagens do Torno CNC (Tanaka, 2009);

- Com a rapidez da máquina e dos comandos é possível rápida preparação da máquina e sua melhoria de performance na flexibilidade, além dessas descrições servirem inclusive para produções de pequenas e médias séries.

- Como a alteração de qualquer dado em uma máquina CNC é mais fácil e rápido que as demais isso torna mais simples a alteração de medidas e dimensões das peças quando comparadas com as máquinas tradicionais.

- A possibilidade de correções de medidas quando se tem o desgaste de ferramentas, a própria máquina realiza incrementos que compensam os desgastes. E no final as peças estão dentro das especificações e tolerâncias. Abaixo a figura 3 mostra um torno CNC ROMI, seus principais acionamentos e o painel de controle da máquina.

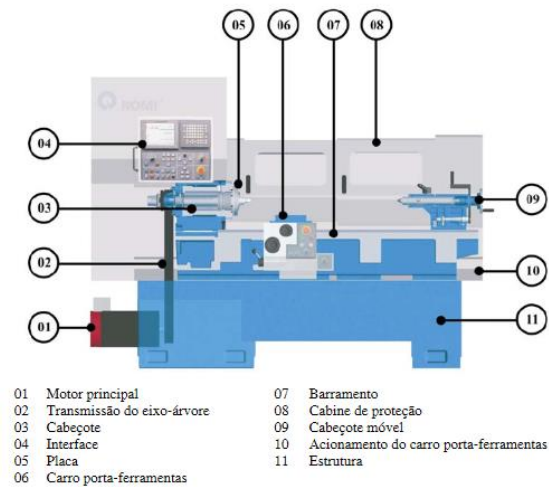


Figura 3. Torno CNC ROMI – Manual técnico

A seguir algumas diferenças em comparação com os tornos convencionais dos componentes de um torno CNC:

- A estrutura de um torno CNC envolve dispositivos de segurança que normalmente um torno convencional não tem, o sistema de transportes de cavacos também se torna diferenciado.

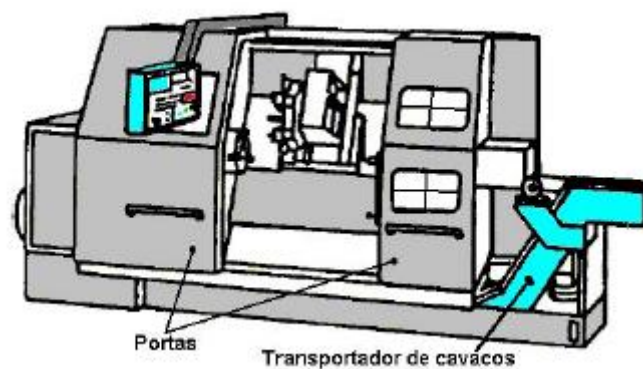


Figura 4. Transporte de cavacos- Componentes de um torno CNC, Apostila Senai AM

- Como o processo é automatizado e são utilizadas várias ferramentas sequenciais as operações são realizadas sucessivas, eles possuem alimentação tanto de material como de ferramenta automáticos como este magazine de ferramenta automático.

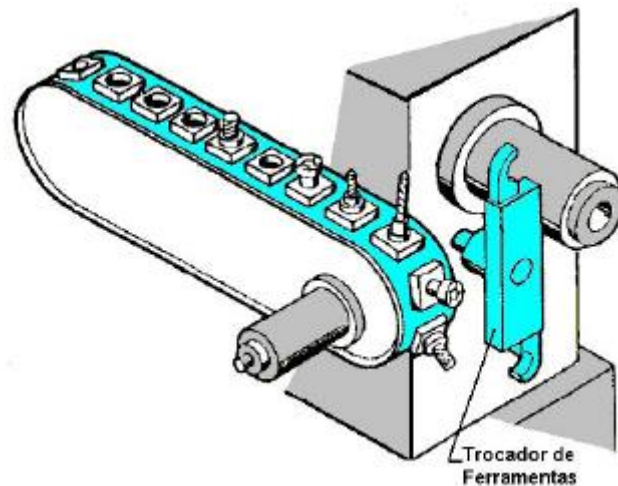


Figura 5. Magazine de ferramentas- Componentes de um torno CNC, Apostila Senai AM

Como operam em altas velocidades e rotação os tornos CNC necessitam de um sistema de refrigeração que atenda as necessidades tanto de refrigerar quanto na remoção de cavacos, caso isto ocorra de maneira inadequada afeta o processo de usinagem e sua qualidade final. Na figura abaixo mostra algumas diferentes formas de como pode ser a lubrificação das máquinas CNC.

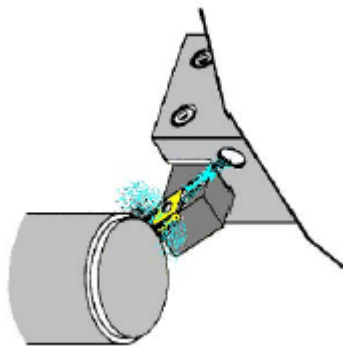


Figura 6 – Fluido conduzido através do porta ferramentas flexíveis. - Componentes de um torno CNC, Apostila Senai AM

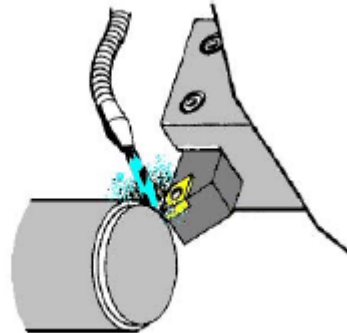


Figura 7 – Fluido conduzido através de mangueiras flexíveis. - Componentes de um torno CNC, Apostila Senai AM

A escolha de um torno adequado e com a precisão conforme a necessidade especificada no projeto é fundamental, sem vibrações e outros fatores que influenciam no processo produtivo.

Os tornos variam também de acordo com a potência desejada e o tamanho para as peças que serão trabalhadas desde pequeno porte até componentes de grandes dimensões.

3.4. Aço SAE 1045

A NBR 172/2000 classifica o AÇO 1045 para construção mecânica. Esses aços quase sempre são fornecidos sem qualquer tratamento térmico apenas quando se deseja alguma melhoria no produto final recorre-se a tratamentos convencionais. A composição do mesmo para seguir as normas deve apresentar segundo a NBR NM 87/2000:

| C | Mn | P_{máx.} | S_{máx.} | Si |
|-----------|-----------|-------------------------|-------------------------|-----------|
| 0,43-0,50 | 0,60-0,90 | 0,040 | 0,050 | 0,10-0,60 |

Tabela 1 – Composição química do aço ABNT 1045 segundo a norma NBR NM 87/2000

Aços carbono com a porcentagem entre 0,40% e 0,60% de sua composição são mais fáceis de serem usinados no torneamento quando a perlita se apresenta grosseira ou quando houver esferoidita (Chiaverini, 2005). Esses aços são empregados em, vários ramos do metal mecânica e alguns desses ambientes bastantes insalubres como petróleo e gás, eixos entre outros.

3.5. Rugosidade

Em alguns componentes o acabamento superficial de uma peça é fundamental para o seu desempenho final como eixos, acoplamentos, resistência à fadiga e a corrosão entre outros além de peças que irão exigir posterior ao processo uma pintura e peças que trabalham em conjunto, o próprio projeto irá especificar os parâmetros a serem seguidos na determinação do acabamento, além do desempenho está envolvido também o quesito de desgaste excessivo já que a peça irá entrar em constante atrito desnecessário, situação está que não iria ocorrer se estivesse trabalhando com pouca interferência e não ocorrendo assim a fadiga. Quando as superfícies apresentam os índices de irregularidades grandes os desgastes acontecem de forma mais intensa e rápida do que em superfícies mais polidas isso porque a área de contato é maior (Amorim, 2002). Durante todo o processo de fabricação esse controle é acompanhado por diversos parâmetros previamente estabelecidos. Para sua definição com parâmetros e

símbolos é possível consultar a NBR ISO 4287 que disponibiliza os parâmetros e definições para Especificações Geométricas para o Produto – Rugosidade, além desta existem outras normas como ISO 468-3274, DIN 140-477 e etc.

Pode-se avaliar a rugosidade de uma superfície por vários fatores que levam em conta uma ou mais características da superfície, como comprimento da rugosidade(1), o comprimento da ondulação (2), a amplitude das cristais (3), a amplitude da ondulação (4) e sua orientação (5) (Camargo, 2002). Conforme figura.

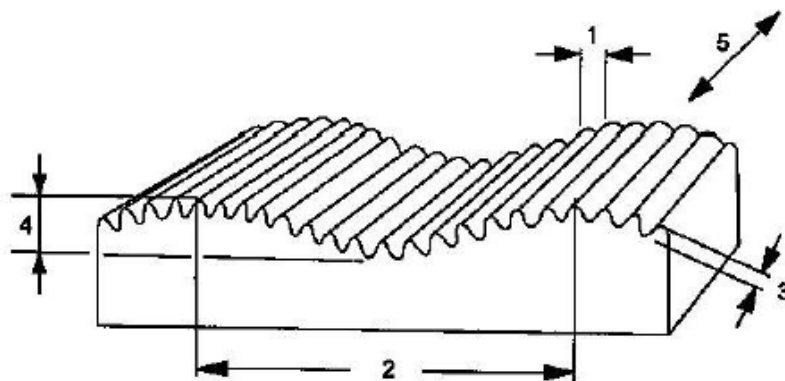


Figura 8. Elementos de uma superfície usinada. Fonte- Camargo (2002)

Vários fatores também influenciam a rugosidade da peça não podem ser ignorados como o material da peça, ferramenta e a máquina operatriz, esses fatores vão além dos citados anteriormente como avanço e raio de curvatura da ferramenta (Chiaverini, 2005). Além desses fatores existem vários outros que podem em maior ou menor escala interferir nesse resultado final. Quando se relaciona alguns fatores o acabamento final pode-se dividir em rugosidade, ondulações e falhas, esses em conjunto em menor ou maior proporção cada um tem relação direta com o acabamento final (Juneja&Swkhon, 1987; Shaw, 1984; Schaffer, 1988; Drozda & Wick, 1983; Sata, 1963).

As variações da superfície geométrica da peça durante a usinagem podem ser nomeadas de acordo com sua forma e característica como macrogeométricos, microgeométricos e ondulações (Ferranesi, 1970).

Podemos dividir em três classes em relação ao espaçamento das irregularidades:

- Irregularidades de forma, os espaçamentos são visíveis ao longo da peça.

-Ondulações são espaçamentos menores que as irregularidades ao longo da peça, surgem geralmente por vibrações e fatores externos.

-Rugosidade apresenta pequenos espaçamentos entre si, causado pelo processo de usinagem e avanço inerente ao processo.

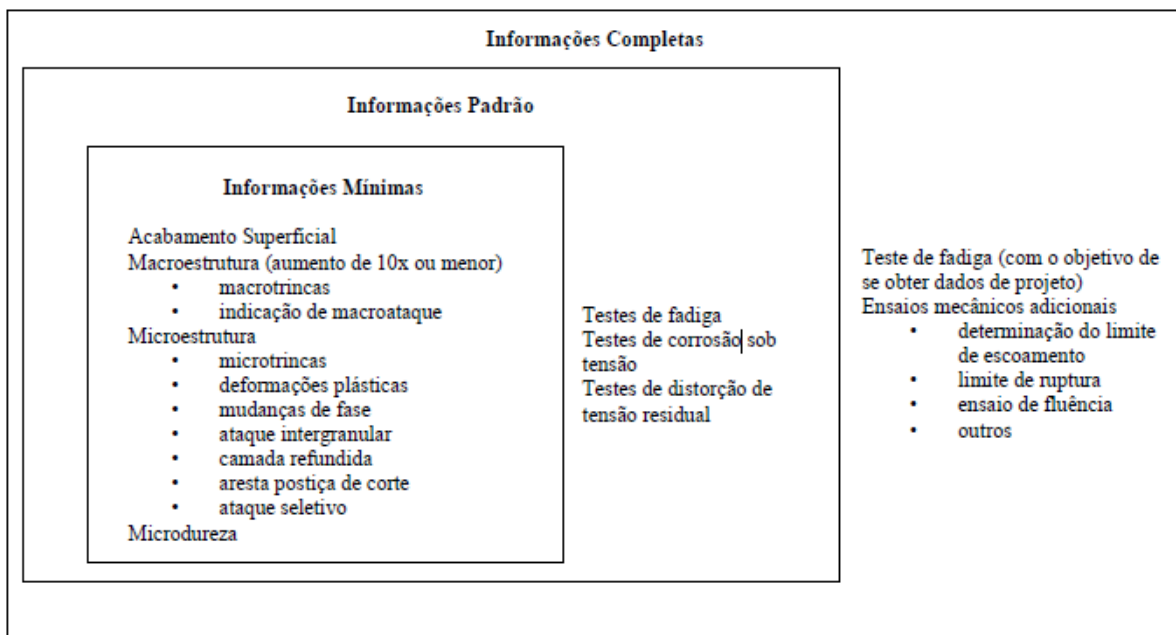






Figura 9 - Diferentes níveis de informação a respeito da integridade superficial de superfícies usinadas (Santos, 1999).

Quando conhecidos o material, a máquina ferramenta e os parâmetros de corte em que ocorre o processo a qualidade deverá ser mantida do início ao fim. Visando monitorar esta estabilidade do processo são realizadas periodicamente medições de qualidade, ou seja de qualidade final da superfície (Oliveira, 2006).

Todos os desvios mostrados na tabela 2 são resultantes do processo de fabricação referentes.

Tabela 2 - Desvios de forma das superfícies técnicas(Konig & Klocke, 2002).

| Desvios de forma (representado numa seção do perfil) | Exemplos para tipos de desvios | Exemplos para origem de desvios |
|--|----------------------------------|---|
| 1ª ordem: Desvio de forma  | Não plano Ovalado | Defeitos nas guias das máquinas ferramentaos; deformação por flexão da máquina ou da peça; fixação errada da peça; deformações devido a temperatura, desgaste |
| 2ª ordem: Ondulação  | Ondas | Fixação excêntrica ou defeito de forma de uma fresa; vibrações da máquina ferramenta, da ferramenta ou da peça. |
| 3ª ordem: Rugosidade  | Ranhuradas | Forma do gume da ferramenta; avanço ou profundidade de corte. |
| 4ª ordem: Rugosidade  | Estrias Escamas Ressaltos | Processo de formação do cavaco (cavaco arrancado, cavaco de cisalhamento, gume postigo); jateamento de areia; tratamento galvânico. |
| 5ª ordem: Rugosidade Não mais representável graficamente em forma simples | Estrutura | Processo de cristalização, modificação da superfície por ação química (ex. decapagem), processos de corrosão. |
| 6ª ordem: Não mais representável graficamente em forma simples | Estrutura reticulada do material | Processos físicos e químicos da estrutura do material; tensões e deslizamentos da rede cristalina. |

3.5.1 Rugosidade Superficial

A rugosidade também conhecida como erros microgeométricos da superfície (Bibvirt, 2006). Para monitorarmos o processo de acabamento superficial precisamos quantificar e padronizar a rugosidade superficial. Quando a ferramenta se encontra sobreposta a peça ela cria as marcas deixadas pelas distâncias entre os espaçamentos do avanço ou seja rugosidade primária que acaba se formando no que pode-se chamar de sulcos criando assim um perfil de ondulação (Novaski, 1994). Quando quantificamos esses resultados podemos verificar em qual parâmetro está ocorrendo o desvio do processo do inicialmente previsto. Os valores mais utilizados em indústrias são os valores R_a , R_z , R_y .

A rugosidade média R_a , em sua definição como a média aritmética dos valores dos desvios quando realiza-se a medição a partir de um perfil ou seja os valores representam uma média dos valores de medição e não uma representação do perfil por completo, ou de uma linha mediana (Bruneti, 2008).

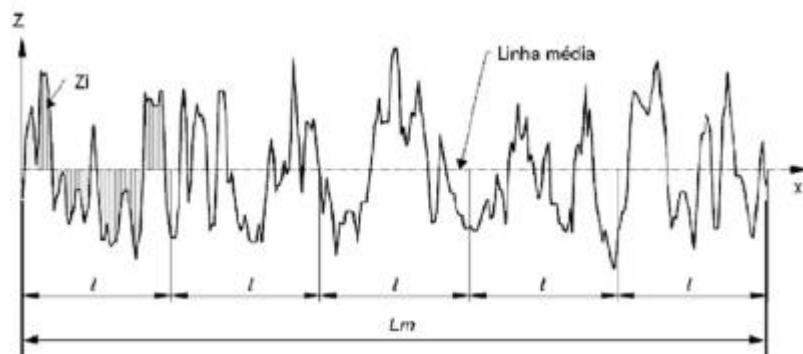


Figura 10. Definição gráfica do parâmetro Ra- Brunetti 2008

As influências das várias condições de usinagem podem inclusive em algumas situações interferir na vida da peça, ou seja, o componente e sua vida útil está ligado diretamente com essas condições. Quando se relaciona os parâmetros na usinagem é necessário que seja feita o estudo da previsão da vida útil de cada peça (Leskovar e Peklenik, 1982).

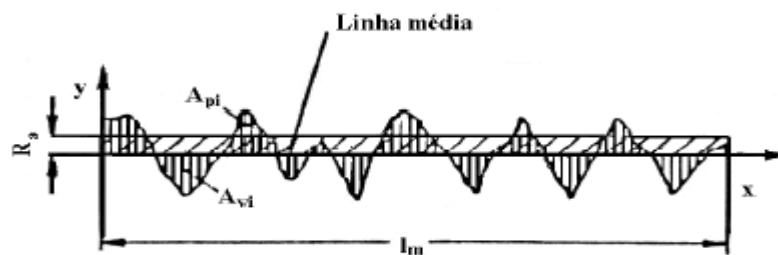


Figura 11. Desvio médio aritmético Ra (Brunetti 2008)

A rugosidade R_z conhecida como profundidade da rugosidade é pouco utilizada pelo fato de seus dados estarem muito difundidos, isto é separados uns dos outros, sem poder estabelecer uma média ou relação entre si. Os parâmetros de rugosidade podem ser definidos e medidos de diversas formas como : rugosímetro, perfilômetro entre outros.

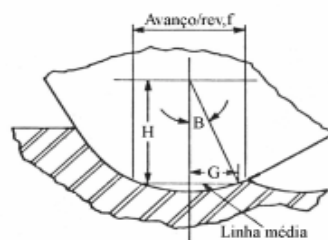


Figura 12 – Modelo de rugosidade segundo (Drozda, 1983)

Neste modelo de Drozda mostra um perfil gerado pela ferramenta de corte, ou seja, ele relaciona o acabamento superficial com a geometria da ferramenta e o modo que ela desliza sobre a peça com as áreas relacionadas.

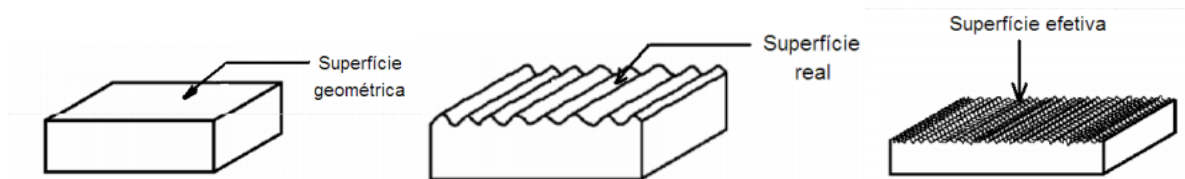


Figura 13 – Superfícies de rugosidade real e efetiva (Drozda, 1983)

Os exemplos acima são referentes as diferentes avaliações sobre a superfície em análise, isto é, a superfície (1) ideal aquela sem rugosidades e teoricamente “perfeita”, a superfície (2) aquela com desvios “visíveis” e finalmente a superfície (3) aquela avaliada por um instrumento de avaliação técnica que traça o perfil geométrico da peça.

As unidades de rugosidade aritmética R_a são : micrometro (μm) e micropolegada, os rugosímetros com resoluções de 0,1 a 0,001 μm .

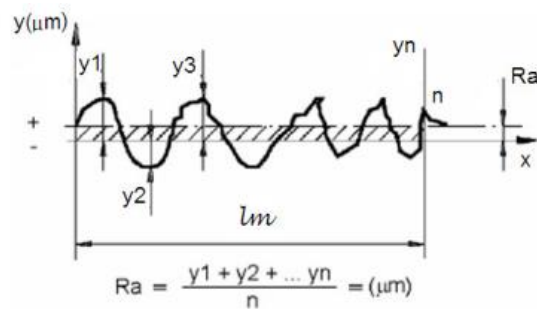


Figura 14- Esquema simplificado do cálculo de R_a

Tem se cálculos teóricos sobre a rugosidade R_a (equação 3)

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

Equação 3 - Equação do cálculo de R_a .

Geralmente utilizado em linhas de produção seriada o valor de R_a representa bem os controles contínuos de processos, além de sua facilidade de medição, em processos como o torneamento.

Entre os vários parâmetros podemos citar que segundo ISO 4287/1, DIN 4768 Matematicamente R_a é definido como sendo o valor médio aritmético de todos os desvios do perfil de rugosidade em relação a linha média, dentro de um comprimento de medição L. Por essas medições serem a partir dos desvios de picos e vales esta parâmetro não consegue formar uma visão de como a superfície está deformada em sua totalidade, ou seja, expressar a forma real da superfície, oferece apenas um ótimo parâmetro quando se deseja obter valores médios e assim visualizar se está dentro das tolerâncias.

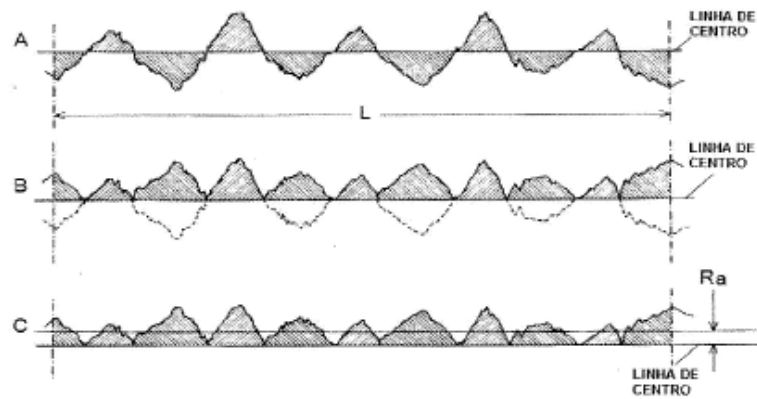


Figura 15- Esquema simplificado do cálculo de R_a (Bacci da Silva, Márcio 2010)

Existem vários fatores que influenciam nessa rugosidade, é importante saber se apenas este parâmetro de amplitude é suficiente para o controle de processo especificado, ou seja se apenas essa média atende os requisitos que definem perfil desejado. Essa rugosidade sofre influência dos mais variados fatores como podendo ser desde o processo de fabricação como fundição e outros até a geometria da ferramenta (Amorin, 2002).

A rugosidade superficial pode variar de acordo com o processo de fabricação como cita conforme tabela:

| | | RUGOSIDADE SUPERFICIAL | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------------|------------------------|-------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|--|--|
| Ra | microns (μm) | 0,02 | 0,025 | 0,05 | 0,10 | 0,20 | 0,40 | 0,80 | 1,6 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | 25 | 50 | 100 | | |
| | micro polegadas (μin) | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 4,0 | 8,0 | 16 | 32 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | | |
| Método de produção | Campo de aplicação 1) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fundição em areia | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Corte por maçarico | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Laminação a quente | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jato de areia | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Serramento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Forjamento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aplainamento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fundição em coquilha | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Furação | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Extrusão | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fresamento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Torneamento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fundição de precisão | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mandrilamento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Laminação a frio | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fundição sob pressão | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Atarg., brochamento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Retificação | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tamboramento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rodagem | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espelhamento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lapidação | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Polimento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Supercabamento | | | | | | | | | | | | | | | | | |



1) Código:  Campo usual de aplicação
 Aplicação menos comum
Valores maiores ou menores que os indicados podem ser obtidos em condições especiais

Figura 3– Variação da rugosidade com o processo de fabricação (Ferranesi,1970).

Em relação aos parâmetros de corte que influenciam nesta rugosidade tem-se o a fórmula Diniz et al (2000) :

$$R_a = \frac{f^2}{31,2 r_e}$$

Equação 4 - Equação do cálculo de Ra.

Ela relaciona avanço f com raio de ponta de ferramenta R_e , resultando no cálculo de rugosidade teórica baseada nestes dois parâmetros.

3.6. Ferramenta de corte

Assim como a tecnologia foi evoluindo para as máquinas e os métodos de controle das mesmas, também se observou ao longo dos anos a evolução das ferramentas e o desenvolvimento de novos materiais para ferramentas de corte. Nas últimas décadas surgiram novas ferramentas em consequência do aumento da tecnologia na área de usinagem uma das que mais emergiu na indústria, além disso o surgimento de novos materiais contribuiu significativamente para isso (Rosa e Diniz,1999). Visando melhorar seu desempenho se iniciou estudos sobre os parâmetros que influenciam o seu melhor desempenho, nesses estudos incluem que essas ferramentas devem aliar algumas características como: alta resistência mecânica ao desgaste, alta tenacidade, altas durezas em elevadas temperaturas e elevada estabilidade química (Matsumoto e Diniz, 2000). Atualmente temos várias ferramentas com aplicações abrangentes capazes de realizar várias operações com a mesma qualidade, mas como não seria capaz de criar uma ferramenta única que fosse capaz de se adequar as mais diferentes condições de usinagem. São feitas pesquisas seguindo os critérios disponíveis no seu processo e assim buscando no mercado algo que se adeque aos seus requisitos como material, temperatura e operação de usinagem.

Alguns dos itens da ferramenta de corte podem ser modificados visando a otimização do seu desempenho no produto final, principalmente relacionados a cunha cortante. O raio de ponta é um dos fatores que podem influenciar diretamente sobre a rugosidade superficial e aliada ao chanfro. Dependendo do material que irá ser trabalhado conforme a variação no raio ele irá gerar alterações em sua microestrutura superficial da peça, influenciando assim no acabamento final.

As forças exercidas na usinagem agem diretamente na ferramenta de corte, conforme essas forças forem aumentando o impacto sobre a mesma irá resultar no desgaste da ferramenta influenciando assim na vida útil dela e possível desvio superficial. Então nesse contexto ocorre a análise com mais profundidade sobre os resultados de diferentes raios de ferramentas com aplicação específica entre os padrões exigidos no processo em estudo de caso. Para bons acabamentos superficiais e a proximidade da rugosidade desejada deve ser feito na usinagem um ou mais passos quando realizado o desbaste e ainda assim no acabamento realizar o mesmo número de passos. Algumas usinagens pode-se usar uma

ferramenta especial mas em relação a disponibilidade do processo quase sempre se usa a mesma do desbaste para obtenção da tolerância(Meireles, 2000).

3.6.1 Geometria e raio de ferramenta

A norma NBR que trata das grandezas básicas e usinagem é ABNT NBR 6163/80. A geometria da ferramenta exerce um papel importante nos processos de torneamento. O tipo de cavaco, desgaste de ferramenta, acabamento superficial, tudo isso é influenciado pela geometria. Para avaliar a eficiência de uma ferramenta de corte modificamos: o material de fabricação da ferramenta ou revestimento da mesma e sua respectiva geometria de corte, para então desenvolver novos parâmetros de melhorias. Kattan & Currie (1996) desenvolveram um estudo sobre pastilhas para torneamento onde, sobre condições idênticas de torneamento no qual as pastilhas variaram o ângulo de posição de uma pastilha de metal duro revestido. É imprescindível na escolha do tamanho, formato (ângulo de ponta), a geometria e o raio da pastilha (RE) corretos da pastilha para obter um bom desempenho na usinagem e controlando os cavacos (Sandvik, 2016).

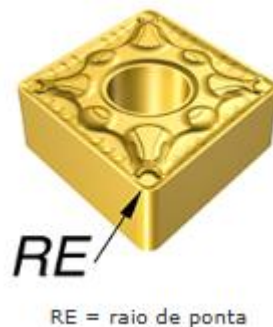


Figura 16 – Raio de ponta ferramenta (Sandvik, 2016- Manual Técnico).

O raio de ponta, RE, é um dos fatores muito importante nas operações de usinagem, os fatores determinantes na escolha desse RE são: Profundidade de corte e Avanço.

Na usinagem ele influencia basicamente em três fatores: (Manual de Torneamento Sandvik):

- Acabamento superficial

- Quebra cavacos

- Resistência da pastilha

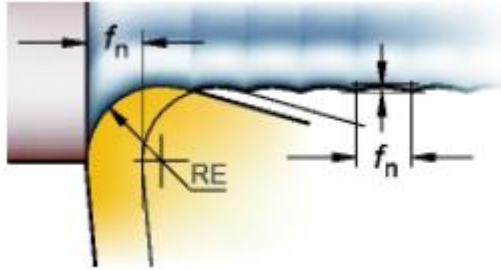


Figura 17 – Raio de ponta ferramenta relacionado ao avanço (Sandvik, 2016- Manual Técnico).

Algumas características de Raio de ponta pequeno.

- Ideal para profundidades de cortes pequenas.

- Reduz a vibração.

- Resistência da pastilha maior

Raio de ponta maior:

- Faixas de avanço pesadas

- Grandes profundidades de corte

- Aresta robusta

- Forças radiais maiores

O quebra cavaco também tem uma significativa melhora quando se está trabalhando com raios menores (Sandvik, 2016- Manual Técnico).

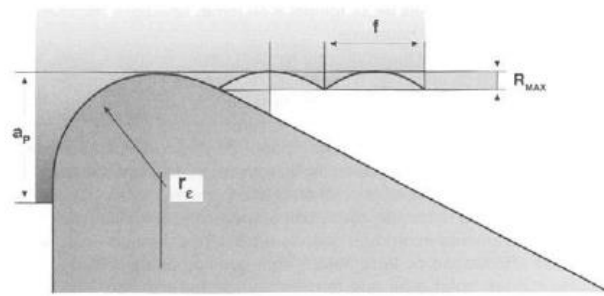


Figura 18– Contribuição geométrica de avanço e raio de ponta de ferramenta na rugosidade (Diniz et Al, 2000).

Além destes fatores existem diversos outros parâmetros na escolha de raio, ângulo entre outros que influenciam em um bom acabamento na usinagem. Como exemplo temos o raio de ponta da ferramenta quanto maior for este raio menor será a marca deixada pelos passos de avanço dados na máquina, porém um raio excessivo acaba gerando uma vibração maior na máquina em questão assim prejudicando o acabamento. Essas questões são avaliadas conforme estabelecidos pelas condições desejadas de usinagem.

Apesar do efeito do ângulo de posição ser pequeno quando diminuimos esse ângulo podemos ter uma melhoria nas marcas de avanço, além disso uma otimização no escoamento dos cavacos resultando assim em um melhor acabamento (Shaw, 1984).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental foi realizado no SENAI Waldomiro Lustosa de Manaus, Amazonas em parceria com o Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Amazonas. No processo de torneamento de desbaste de peças de aço, foram realizados testes com pastilhas de mesma geometria diferindo apenas de raio de ponta de ferramenta, dentro dos parâmetros fornecidos pelo fabricante em seguida feito medição da rugosidade média das peças usinadas.

Os ensaios realizados de torneamento medidos e avaliados de forma a proporcionar um estudo da influência de raio de ponta de ferramenta com máquinas CNC na rugosidade média R_a da peça usinada.

No final uma comparação com os resultados obtidos de rugosidade média para análise se está dentro dos padrões solicitados no projeto.

4.1. Material ensaiado

O material para realização dos testes foi uma barra cilíndrica de aço 1045 todas com o mesmo dimensional selecionado dentro da especificação comercial. Todos quatro corpos de prova foram usinados brutos sem tratamento térmico de superfície.



Figura 19 – Corpos de prova usados aço 1045- próprio autor

4.2. Corpos de prova

Os ensaios foram realizados com quatro corpos de prova de aço 1045 nas dimensões: 100mm de comprimento, 24,4mm de diâmetro.



Figura 20 - Desenho dos corpos de prova utilizados- própria autora.

Para realização dos ensaios foram usinados 30mm de cada corpo de prova a uma profundidade de corte de 1mm.

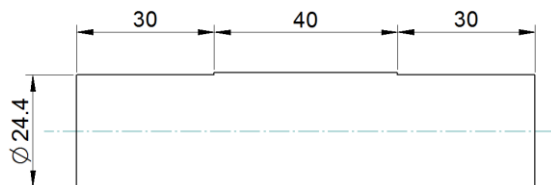


Figura 21 - Desenho dos corpos de prova usinados- própria autora.

4.3. Parâmetros de corte

Os parâmetros de corte utilizados foram baseados em tabelas do fabricante para achar o V_c e o avanço utilizado f_n , com os valores fornecidos foi tirado uma média entre os V_c para então calcular os RPM's adequados para aos materiais e o acabamento solicitado para a operação.

Para o cálculo de V_c médio de $R_\epsilon 0,4$:

$$V_{c\text{ M\u00c9DIO}} = \frac{545+450}{2} = 497,5 \quad \text{Equa\u00e7\u00e3o 5}$$

Para o c\u00e1lculo de RPM utilizando o valor m\u00e9dio de V_c :

$$RPM = \frac{V_c \cdot 1000}{d \cdot 3,14} = \frac{497,5 \cdot 1000}{25,4 \cdot 3,14} = 5639 \text{ RPM} \quad \text{Equa\u00e7\u00e3o 6}$$

Agora os mesmos c\u00e1lculos para o $R_\epsilon 0,8$:

| | | | | | | |
|------------------|---|---|---|-----------------|------------------|-----|
| DCMT 07 02 02-PF | ☆ | ★ | ★ | 0.26 (0.06-1.5) | 0.06 (0.03-0.11) | 480 |
| 07 02 04-PF | ☆ | ★ | ☆ | 0.26 (0.08-1.5) | 0.08 (0.05-0.17) | 470 |
| 11 T3 02-PF | ☆ | ★ | ★ | 0.35 (0.08-2) | 0.08 (0.04-0.15) | 470 |
| 11 T3 04-PF | ☆ | ★ | ☆ | 0.35 (0.11-2) | 0.11 (0.06-0.23) | 450 |
| 11 T3 08-PF | ☆ | ★ | ☆ | 0.35 (0.15-2) | 0.15 (0.08-0.3) | 425 |

Tabela 6 – V_c de corte e f_n para a pastilha selecionada $R_\epsilon 0,8$, valores fornecidos pelo fabricante.

Para o c\u00e1lculo de V_c m\u00e9dio de $R_\epsilon 0,8$:

$$V_{c\text{ M\u00c9DIO}} = \frac{515+425}{2} = 470 \text{ } V_c \quad \text{Equa\u00e7\u00e3o 5}$$

Para o c\u00e1lculo de RPM utilizando o valor m\u00e9dio:

$$RPM = \frac{V_c \cdot 1000}{d \cdot 3,14} = \frac{470 \cdot 1000}{25,4 \cdot 3,14} = 5890 \text{ RPM} \quad \text{Equa\u00e7\u00e3o 6}$$

4.3.3. Escolha do avan\u00e7o para cada inserto

A escolha do avan\u00e7o de corte f_n foi feita seguindo o manual t\u00e9cnico da Sandvik, cada teste foi realizado usando os seguintes crit\u00e9rios:

- Avan\u00e7o ideal
- Avan\u00e7o m\u00ednimo

-Avanço máximo

| Raio de ponta Rε | f_n mm/r |
|------------------|------------|
| 0,4 | 0,22 |
| | 0,11 |
| | 0,055 |
| 0,8 | 0,3 |
| | 0,15 |
| | 0,47 |

Tabela 7 – Tabela de f_n recomendado pelo fabricante usados nos ensaios.

Conforme tabela pode ser observado que foram realizados 6 amostras, sendo três com cada raio de pastilha, para ser observado e verificar a influência do raio em conjunto com o avanço em 6 situações que diferem em seus raios combinados com seus respectivos avanço

4.4. Equipamentos

A máquina ferramenta utilizada foi o torno Nardini Diplomat 3001 CNC de 7,5KN de potência, distância entre pontas de 1000mm, com rotação máxima de 3500rpm.



Figura 23 – Torno Nardini Diplomat – Próprio autor



Figura 24 – Suporte para inserto

O equipamento para medição de rugosidade foi utilizado rugosímetro digital SJ-210.



Figura 25 – Rugosímetro Mitutoyo SJ-210- Próprio autor

4.5. Procedimentos

Foram realizadas seis usinagens com os corpos de provas diferentes, três com a pastilha de R_ϵ 0.4 em diferentes extremidades, e três com a pastilha de R_ϵ 0.8 em extremidades opostas.



Figura 26 – Corpo de prova fixado no torno

Pode ser observado (figura 26) que o corpo de prova foi fixado de uma maneira a minimizar a vibração, além de estar uma área de boa dimensão nas castanhas o contraponto irá diminuir ainda mais essa vibração na hora da usinagem.

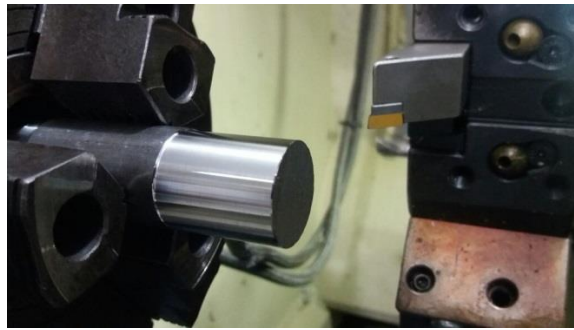


Figura 27- Corpo de prova iniciando a usinagem

A aproximação da ferramenta na peça realizada cuidadosamente para que o ângulo dela não influenciasse no acabamento, centralizando o com a peça. Foi deixado uma área no centro da peça que pudesse ser fixada às castanhas sem prejudicar a ponta da outra extremidade, neste centro não haverá usinagem irá servir apenas de fixação. Importante frisar que mesmo a máquina não atendendo nenhum dos *RPM* indicados por limitação máxima não houve vibração que interferisse na usinagem e nos resultados. O *RPM* utilizado foi o de potência máxima da máquina no caso 3500 *RPM*.



Figura 28- Corpo de prova iniciando a usinagem

4.5.1. Medição da Rugosidade (R_a)

Depois que foram finalizados os testes de usinagem, as peças foram limpas para total retirada de qualquer fluido de corte que pudesse interferir na medição. Em seguida da limpeza o parâmetro R_a foi medido na direção perpendicular às marcas que se usinou no avanço, utilizando Rugosímetro digital SJ-210 com cut-off de $0,8mm$ e raio de ponta de $5\mu m$.

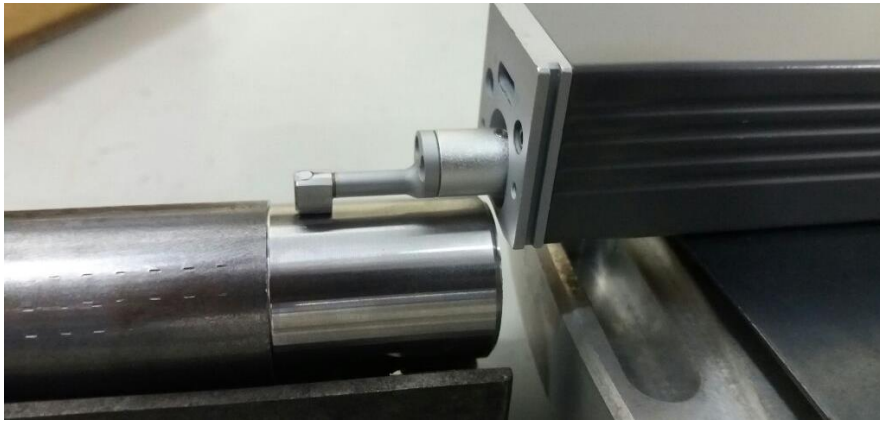


Figura 29- Medição de corpo de prova com Rugosímetro Mitutoyo

O rugosímetro foi apoiado em blocos padrões para ficar na mesma altura da peça para não haver variações de altura que influenciassem no resultado final. A peça também foi apoiada em um bloco padrão para ficar em superfície plana e sem irregularidades de desnível.

Cada medição foi realizada três vezes para se ter uma análise mais confiável que a superfície não estava com rebarbas que pudessem interferir logo após a usinagem.

5. Resultados e discussões

Serão apresentadas e discutidas a influência do raio de ponta de ferramenta e os parâmetros na análise da rugosidade superficial. Além disso também serão mencionadas as condições de realização desta usinagem referente à máquina e alguns recursos disponíveis. Para esta análise selecionou-se o parâmetro R_a , além de ele ser o mais simples e utilizado na indústria pois está disponível em vários instrumentos de medição acessíveis era o que atendia aos requisitos de mostrar as médias de rugosidade no processo produtivo.

Os resultados das relações de rugosidade superficial em comparação com a teórica, rugosidade relacionado com o avanço, e as comparações final das rugosidades entre raios de ponta diferentes estarão apresentados em forma de gráficos e também tabelas comparativas, foram feitos para ficar mais visível e facilitar interpretações dos resultados.

/

5.1. Rugosidade superficial em comparação com teórica

Nas tabelas seguintes pode se observar a medição da rugosidade real comparada com a teórica utilizando como dados o f_n . Os dados teóricos apresentam um valor em alguns casos bem dispersos dos valores obtidos no experimento como nos casos $15,12\mu\text{m}$ e $14,06\mu\text{m}$.

| | | | | | V_c |
|---|---------------|---------------------|---------------------|-------|-------|
| | Raio de ponta | Rugosidade Amostras | Rugosidade Teóricas | F | |
| 1 | 0,4 | 3,84 | 15,12 | 0,22 | 450 |
| 2 | | 1,01 | 3,78 | 0,11 | 450 |
| 3 | | 0,69 | 0,95 | 0,055 | 450 |
| 1 | 0,8 | 2,88 | 14,06 | 0,3 | 425 |
| 2 | | 1,03 | 3,52 | 0,15 | 425 |
| 3 | | 0,61 | 1 | 0,47 | 425 |

Tabela 8– Rugosidade real e Rugosidade teórica com base nos avanços – próprio autor.

Os valores teóricos obtidos do cálculo de rugosidade R_a (tabela 8) apresentam valores dispersos, alguns autores explicam um pouco sobre este assunto, Diniz e Noritomi (1998) quando realizaram um experimento com ABNT 1045 com $V_c= 230\text{mm}$, no caso de

avanços com 0,13 e 0,19 *mm/volta* os valores de rugosidade foram menores que valores teóricos.

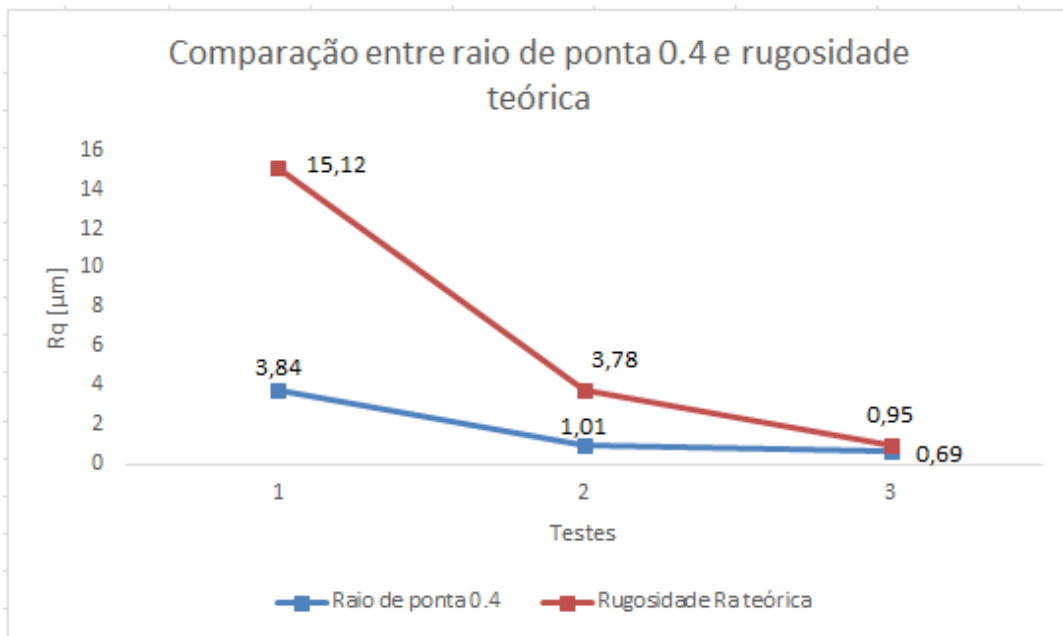


Figura 30 – Rugosidade real e Rugosidade teórica com base nos avanços – próprio autor.

Observando o gráfico podemos notar que nas amostras 2 e 3 foram mais próximas das teóricas e também valores de rugosidades menores, pode-se supor que isso se relaciona com o avanço, quanto menor o avanço menor a rugosidade. Comprovando vários artigos relacionados com esse assunto que citam as relações de avanço com integridade superficial. Conforme a conclusão de Haag Claudinei (2011) a distância se afastou muito dos cálculos teóricos de rugosidade e do experimento, o que se pode concluir que o cálculo apresenta um bom nível de segurança quando se deseja obter um desejado nível mínimo de rugosidade. Isto é pelos cálculos poderia se retirar os valores máximos que a usinagem poderia obter.

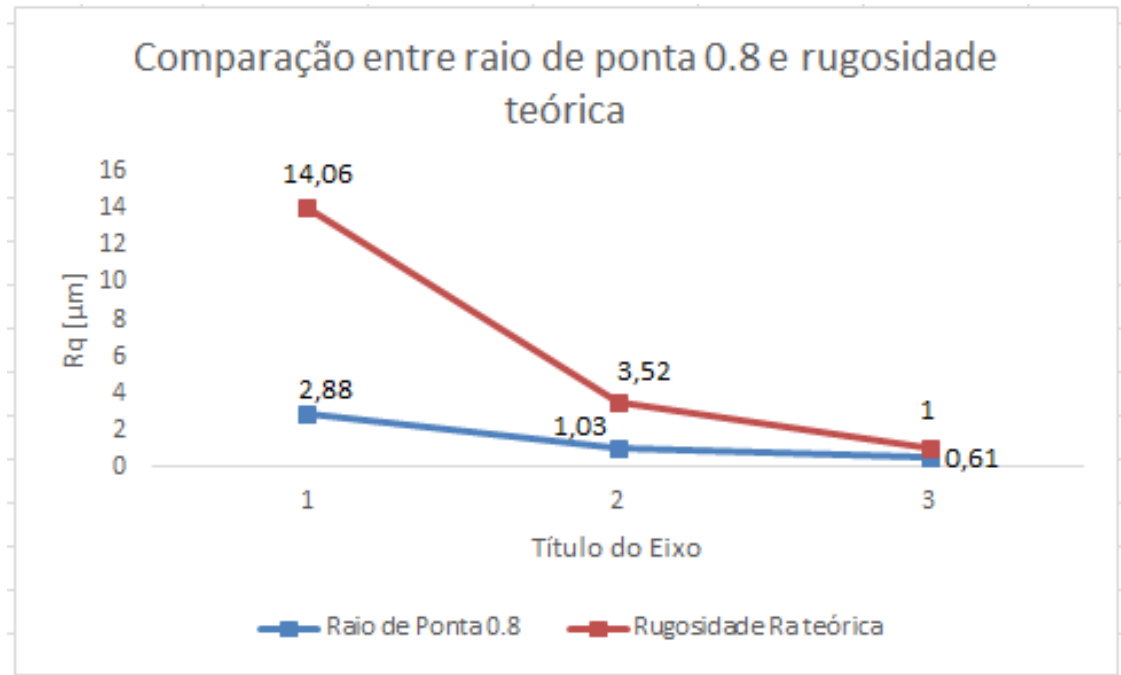


Figura 31 – Rugosidade real e Rugosidade teórica com base nos avanços – próprio autor.

No caso do Raio de ponta $R_{0,8}$ observamos que se repetiu o mesmo comportamento quando relacionamos rugosidade teórica com obtidas na prática. O fato de se aproximarem cada vez mais está relacionado com a diminuição do avanço, observando se que o maior avanço se dispersou totalmente nos cálculos do experimento.

5.2. Rugosidade superficial comparando-se os raios.

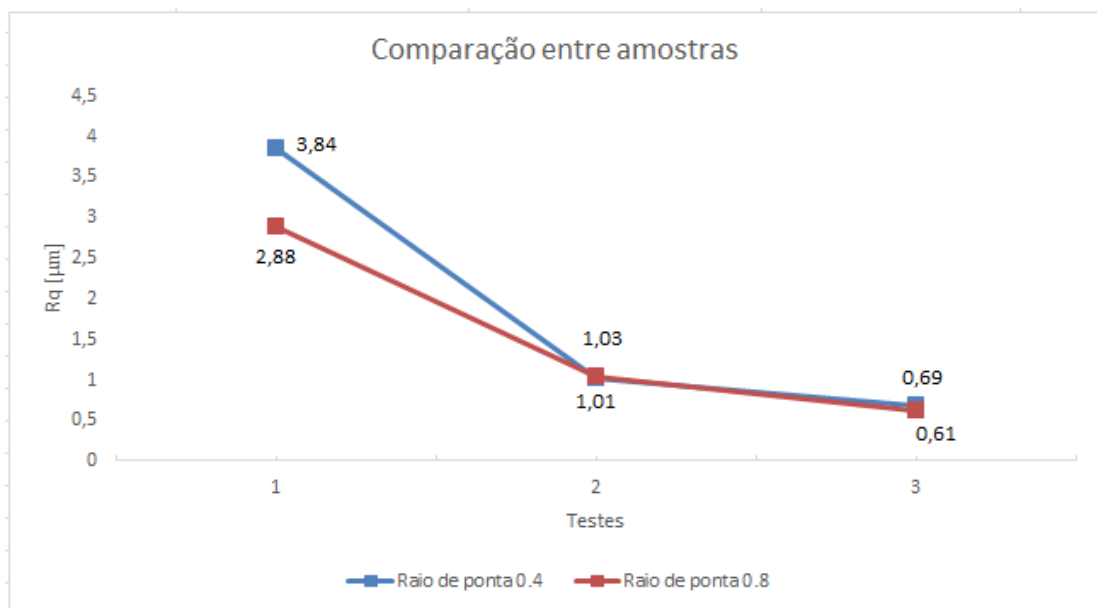


Figura 32 – Rugosidade real e Rugosidade teórica com base nos avanços – próprio autor.

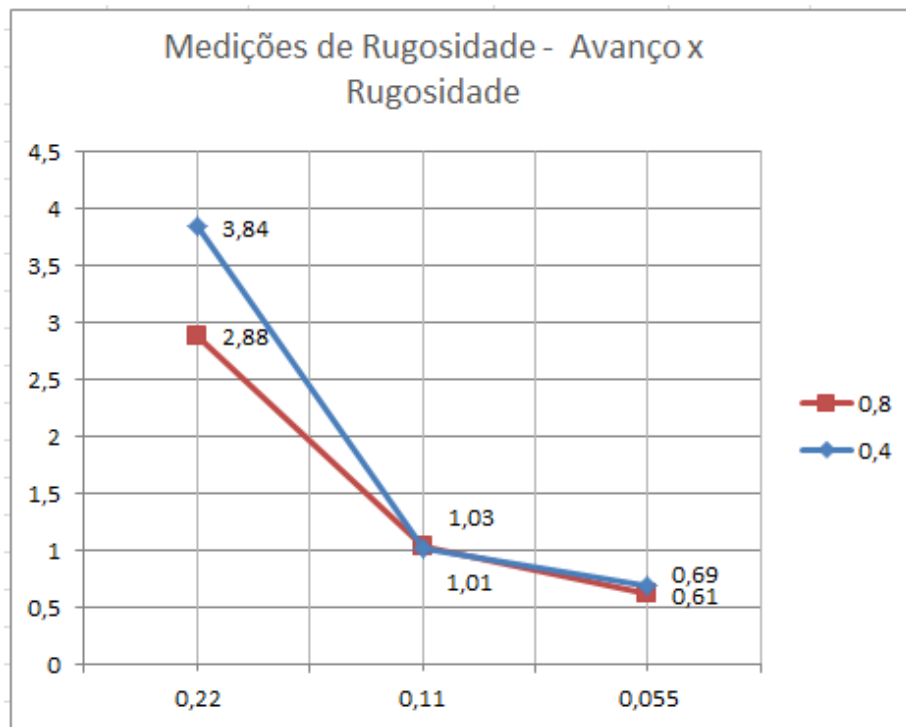


Figura 33 – Comparação de rugosidades entre diferentes valores raios – próprio autor.

Observando este gráfico podemos expressar os valores de rugosidades correspondes e seus avanços utilizados nos testes. Ele mostra de forma clara que a relação entre avanço e rugosidade estão ligados nos dois experimentos como dito anteriormente quanto menor avanço melhor será seu acabamento superficial. Outro dado que o gráfico ilustra é o assunto principal deste trabalho que se trata de qual inserto apresenta melhor acabamento superficial. Retirando esses dados verifica-se que o inserto de raio maior apresenta ainda que pequena diferença uma superfície melhor do que o raio inferior.

Estas observações comprovam a teoria já dita por vários livros sobre raio de ponta de ferramenta, que citam que ao se aumentar o raio de ferramenta se obtém um melhor acabamento em relação a raios inferiores.

O crescimento da rugosidade no Raio de ponta 0,4 para os seguintes avanços de 11mm/rot e $0,22\text{ mm/rot}$ explica-se em relação ao raio de gume cortante. Segundo Haag Claudinei (2011) “quando o valor do avanço ultrapassa a metade do valor do raio de ponta do gume cortante há aumento da rugosidade.” Isso pode ser comprovado observando os dados obtidos em que 0,22 ultrapassa ainda que pouco a metade do raio de 0,4.

Correlacionando esses dados pode-se concluir que para avanços muito pequenos essa diferença é mínima, mas quando estamos lidando com avanços maiores como $f_n = 0,22$ essa mudança na escolha de raios realmente tem grande influência no acabamento, o gráfico mostra claramente essa diferença. Que essa relação avanço *versus* rugosidade quando observado do ponto de vista para a escolha de um raio de ferramenta demonstra ter bastante importância quando estamos lidando com avanços mais elevados no caso a partir de $f_n = 0,22$.

Assim como Machado and Da silva (2000) “pode se constatar que o aumento do avanço proporciona um aumento R_a , o que é esperado pois o aumento da altura dos picos e a profundidade dos vales das marcas de avanço são proporcionais ao quadrado do avanço”. Isso se comprovou em números nos casos de avanços de $0,15 \text{ rot/min}$ e $0,30 \text{ rot/min}$ em que a rugosidade teve um aumento significativo tanto na prática quanto em teoria.

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados neste trabalho pode-se concluir:

-Com o torneamento do aço ABNT 1045 a rugosidade superficial da peça cresce com o aumento do avanço mesmo sendo os valores tabelados e aconselhados pelo fabricante e quanto mais esse avanço diminui mais os valores de rugosidade real se aproximam dos teóricos nos cálculos.

-Em todas as condições a pastilha $R_{0,8}$ foi a que teve melhor desempenho em todas as condições tanto usando avanços mínimos quanto máximos do fabricante.

-Mesmo a máquina utilizada apresentando uma potência de RPM menor que a exigida pelos cálculos, o trabalho ficou dentro das especificações iniciais do projeto satisfazendo a teoria sobre raios de ponta de ferramenta de várias literaturas.

-Demonstrando assim que quanto maior for o raio de ponta de ferramenta mais satisfatório será o acabamento final da superfície.

-Por fim demonstrou também que o avanço contribui significativamente para a rugosidade superficial, quanto maior o avanço maior será a distância dos sulcos, então para escolha de melhores acabamentos superficiais devemos escolher o mínimo de avanço possível com o RPM adequado.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAMARGO, Robson de, Rugosidade superficial nas operações de torneamento. Santa Bárbara d'Oeste.2002

FERRANESI, Dino. Fundamentos da usinagem dos metais. São Paulo: Edgard Blucher LTDA. 2003.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. Tecnologia da usinagem dos materiais. 4 ed. São Paulo: Artliber, 2003.

TELES, Jose Marcelo. Torneamento de ferro fundido nodular ferritizado com nióbio utilizando ferramentas de metal duro. 2007- Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

SANDVIK do Brasil, Manual técnico de usinagem. São Paulo

TRENT, M. C., 1984 “ Metal cutting principles” – 2. Ed.” Butterworth-Heinemann,USA.

TRENT, E.; WRIGHT, P. Metal cutting. 4.ed. Oxford: Butterworth – Heinemann, 2000

CHILDS, T; MAEKAWA, K.; OBIKAWA, T.; YAMANE, Y. Metal Machining: Theory and Applications. London: Arnold, 2000. 411 p.

PACKNER,D.;BERNSTEIN, I.M. Handbook of stainless steels. New York: McGraw-Hill, 1977

RIBEIRO, MARCOS VALÉRIO, 1996, “Apostila de Usinagem e Máquinas – Ferramentas”, FAENQUIL / Lorena – SP.

RUBIO, J.C. Controladora flexível multi-eixo para acionamentos fracionários de alta dinâmica. Dissertação de Mestrado, CPGM – UFSC, Florianópolis, 1992.

TANAKA, Marcelo Costa. Avaliação de um Dispositivo utilizado em Máquina de Medir por Coordenadas. Monografia, UFRN, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Recursos Humanos – PRH 14/ANP. Áreas de Concentração: Engenharia de Petróleo, Natal/RN, Brasil, 2009

- CHIAVERINI, Vicente. Aços e Ferros Fundidos. 7^o edição. São Paulo: Publicação ABM (Associação Brasileira de Metais), 2005.
- CAMARGO, Robson de. Rugosidade superficial nas operações de torneamento. Santa Bárbara d'Oeste. 2002.
- JUNEJA, B.L. ; SWKHON, G.S. “ Fundamentos of Metal Cutting and Machine Tools”, John Wiley & Sons, New Delhi, India, 1987.
- OLIVEIRA, Juliano Marcon. Caracterização da Integridade de Superfícies Usinadas. Dissertação de Mestrado. Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2006.
- BIBVIRT. Representação de Rugosidade. Biblioteca virtual da USP. Disponível em <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/tem_outros/cursoprofissionalizante/tc2000/metrologia/aula20.pdf> Acesso em novembro/2006.
- NOVASKI, Olívio. Introdução à Engenharia de Fabricação Mecânica. São Paulo: Edgard Blucher. 1994.
- BRUNETTI, Cristiano. Efeitos da preparação de corpo de provas na vida em fadiga de contato de rolamento de ferro fundido nodular austemperado.2008. 116 p.dissertação(mestrado) – Universidade Tecnológica do Paraná. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica e de materiais. Curitiba 2008.
- AMORIM, Heraldo José de. **Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramentas de metal duro**. Dissertação de Mestrado. UFRGS, 2002.
- DINIZ, A . E., COPPINI, N. L., MARCONDES, F. C. TECNOLOGIA DA USINAGEM DOS MATERIAIS. São Paulo: Aranda Editora, 240 p.,1999
- MATSUMOTO, H.; DINIZ, A. E. Torneamento de aços endurecidos utilizando ferramentas cerâmicas. In; CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA – CONE,1. ; 2000, Natal- RN, 2000.
- MEIRELES, G. S. C. Desenvolvimento de sistema de aquisição de dados em operações de usinagem visando o monitoramento de linhas ou células de produção. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.
- Shaw, M. C., 1984, “ Metal Cutting Principles”. Great Britan.Clarendon Press.
- SANDVIAK do Brasil. Manual técnico de usinagem. São Paulo.
- CAMARGO, Robson de. Rugosidade superficial nas operações de torneamento. Santa Bárbara d'Oeste. 2002.

KATTAN, I. A.; CURRIE, K. R. **Developing New Trends of Cutting Tool Geometry**, *Journal of Materials Processing Technology*, 1996.

DINIZ, A. E., NORITOMI, P. Y. Influência dos parâmetros de corte na rugosidade. *Máquinas e Metais*, v. 34, n. 391, p. 92-101, ago 1998.

STEMMER, Caspar Erich. *Ferramentas de corte I*. 5 ed. Florianópolis: Editora da UFSC. 2001.

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA DISCIPLINA: Usinagem 1 PROFESSOR: Márcio Bacci da Silva.