



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

VILNARDO ALVES AGUIAR HERCULANO

**INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO E DO MÉTODO DE APLICAÇÃO DO
FLUIDO DE CORTE NA RUGOSIDADE DE PEÇAS DE AÇO 1020 USINADAS
PELO PROCESSO DE TORNEAMENTO**

FORTALEZA
2018

VILNARDO ALVES AGUIAR HERCULANO

**INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO E DO MÉTODO DE APLICAÇÃO DO
FLUIDO DE CORTE NA RUGOSIDADE DE PEÇAS DE AÇO 1020 USINADAS
PELO PROCESSO DE TORNEAMENTO**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima

**FORTALEZA
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

H464i Herculano, Vilnardo Alves Aguiar.

Influência da concentração e do método de aplicação do fluido de corte na rugosidade de peças de aço 1020 usinadas pelo processo de torneamento / Vilnardo Alves Aguiar Herculano. – 2018.
43 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima.

1. Usinagem. 2. Torneamento. 3. Fluido de Corte. 4. Aço trefilado. 5. Rugosidade. I. Título.

CDD 620.1

VILNARDO ALVES AGUIAR HERCULANO

INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO E DO MÉTODO DE APLICAÇÃO DO
FLUIDO DE CORTE NA RUGOSIDADE DE PEÇAS DE AÇO 1020 USINADAS
PELO PROCESSO DE TORNEAMENTO

Trabalho de Conclusão do Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para obtenção
do título de Engenheiro Mecânico.

Orientadora: Prof. Dr. Francisco Elicivaldo
Lima

Aprovada em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Luiz Soares Júnior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Maria Aleksandra Sousa Rios
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Vilma Alves Aguiar, pelo incentivo e apoio em todos os momentos da minha trajetória desde o início da minha vida.

A essa pessoa um agradecimento mais que especial: minha namorada Camila Vieira Castelo Branco, companheira para todas as horas. Seu apoio é essencial e foi o diferencial no desenvolvimento desse trabalho.

À professora Maria Alexsandra pela atenção e paciência em tirar minhas dúvidas. Tenho grande admiração pelo seu compromisso com o desenvolvimento do nosso curso e pela atenção com os alunos.

Ao professor Franciso Elicivaldo Lima, que me ajudou bastante disponibilizando o laboratório para que eu pudesse concluir esse trabalho. Seus ensinamentos foram bastante úteis no meu aprendizado.

Pela ajuda nos experimentos agradeço ao Bonfim, técnico da oficina; ao José, técnico do LAMETRO e especialmente ao professor Luiz Soares, coordenador do curso de Engenharia Mecânica e responsável pelo LAMETRO, pela disponibilidade do laboratório.

Aos meus amigos do curso de Engenharia Mecânica: Caio Torres, Carlos Eduardo, Ernane Bruno, Filipe de Deus, Guthierre Castro, Hugo Daniel, Jeová Parente, Jonathan Barroso, Júnior Gomes, Lucas Carlos, Marcelo Albuquerque, Rafael Pompeu, Rafael Vasconcelos, Rodrigo Lima e Samuel Ximenes.

“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito.”

Martin Luther King Jr.

RESUMO

Diante do cenário atual da indústria, verifica-se que há a necessidade de operações de usinagem cada vez mais rápidas e que precisam estar atentas e atualizadas aos processos que se modernizam dia a dia. O processo de usinagem consiste em trabalhar uma determinada peça para lhe dar uma forma final desejada e pode ser utilizado em várias situações. Nele pode-se utilizar ou não o fluido de corte, uma mistura heterogênea geralmente formada de água e óleo, usada para refrigeração e lubrificação do contato entre a ferramenta e a peça usadas. Este trabalho teve como objetivo principal verificar a influência da concentração do fluido de corte na rugosidade de peças de aço 1020 trefilado através da usinagem por torneamento. No processo foi utilizado o método manual de aplicação do fluido de corte. Assim, realizou-se a usinagem da peça com fluido de corte nas concentrações (100%, 60%, 40% e 20% de óleo) e uma última usinagem realizada sem fluido de corte. As medições foram realizadas com um rugosímetro eletromecânico Mitutoyo SJ-201. Como resultados obteve-se os valores de 2,70 μm ; 3,47 μm ; 3,18 μm ; 3,27 μm e 2,61 μm de rugosidade média para, respectivamente, fluidos de corte na concentração de 100%, 60%, 40%, 20% e usinagem a seco. Os resultados extraídos deste trabalho sugerem que, na condição em que foram realizados os experimentos, diferentes concentrações de fluido de corte não resultaram em diferenças significativas de rugosidade, uma vez que os resultados obtidos foram muito próximos. Assim, consideramos que as diferenças, mesmo que mínimas, entre os resultados podem ter sido causadas principalmente por erros de medições e desgaste da ferramenta.

Palavras-chave: Usinagem. Torneamento. Fluido de Corte. Aço trefilado. Rugosidade.

ABSTRACT

Given the current industry scenario, there is a need for increasingly faster machining operations that need to be attentive and up-to-date to processes that are modernized day by day. The machining process consists of working a particular part to give it a desired final shape and can be used in various situations. In it, cutting fluid, a generally heterogeneous mixture of water and oil, used for cooling and lubricating the contact between the tool and the part used can be used. This work had as main objective to verify the influence of the concentration of the cutting fluid on the roughness of 1020 steel parts drawn by turning machining. In the process the manual method of application of the cutting fluid was used. Thus, the workpiece was machined with cutting fluid at concentrations (100%, 60%, 40% and 20% oil) and a final machining performed without cutting fluid. The measurements were performed with a Mitutoyo SJ-201 electromechanical rugosimeter. The results obtained were 2.70 μm ; 3.47 μm ; 3.18 μm ; 3.27 μm and 2.61 μm mean roughness for, respectively, 100%, 60%, 40%, 20%, and dry machining fluids. The results obtained from this work suggest that, in the condition in which the experiments were performed, different concentrations of shear fluid did not result in significant differences in roughness, since the obtained results were very close. Thus, we believe that the differences, even minimal, in the results may have been caused mainly by measurement errors and tool wear.

Keywords: Machining. Turning. Cutting Fluid. Steel drawn. Roughness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos processos de fabricação.....	22
Figura 2 - Torno mecânico.....	23
Figura 3 - Parâmetros de corte e superfícies em torneamento cilíndrico externo.....	24
Figura 4 - Geometria da ferramenta de corte.....	25
Figura 5 - Ângulos de saída, de cunha e de folga da ferramenta.....	26
Figura 6 - Perfil de rugosidade.....	27
Figura 7 - Representação rugosidade média (R_a).....	29
Figura 8 - Representação da rugosidade máxima (R_y).....	29
Figura 9 - Representação da rugosidade total (R_t).....	30
Figura 10 - Representação da rugosidade média total (R_z).....	31
Figura 11 - Fluido de corte.....	33
Figura 12 - Ferramenta de corte.....	34
Figura 13 - Amostras de aço 1020 utilizadas na usinagem.....	34
Figura 14 - Croqui da peça.....	35
Figura 15 - Torno mecânico utilizado na usinagem.....	36
Figura 16 - Rugosímetro Mitutoyo SJ-201.....	36
Figura 17 - Realização das usinagens.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições de usinagem.....	37
Tabela 2 - Resultados das medições de rugosidade média (Ra).....	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Medições de rugosidade média (Ra).....	39
--	----

LISTA DAS PRINCIPAIS SIGLAS

a_p – Profundidade de corte

A_γ – Superfície de saída

A_α – Superfície de folga

$A'\alpha$ – Superfície secundária de folga

β_0 – Ângulo de cunha

f – Avanço

LAMETRO – Laboratório de Metrologia Mecânica

l_m – Percurso de medição

MQF – Mínima Quantidade de Fluido

R_a – Rugosidade média

R_t – Rugosidade total

R_y – Rugosidade máxima

R_z – Rugosidade média total

S – Aresta principal de corte

S' – Aresta secundária de corte

V_c – Velocidade de corte

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. Fluidos de corte	19
2.1.1 Fluidos de corte tipo Ar.....	19
2.1.2 Fluidos de corte tipo Aquosos (água e emulsões).....	19
2.1.3 Fluidos de corte tipo Óleos (óleos minerais, óleos graxos, óleos compostos e óleos de extrema pressão.)	20
2.2 Usinagem.....	21
2.2.1 Torneamento	22
2.3 Rugosidade.....	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 O fluido de corte.....	32
3.2 A ferramenta	33
3.3 Peças de aço	344
3.4 Torno mecânico	355
3.5 Rugosímetro.....	366
3.6 Condições de usinagem.....	377
3.7 Descrição do processo	377
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	399
5. CONCLUSÕES.....	411
REFERÊNCIAS.....	423

1. INTRODUÇÃO

Desde o fim da pré-história o homem usa metais na fabricação de ferramentas e armas. Ao longo do tempo as ferramentas e os processos de fabricação vão evoluindo. A Revolução Industrial e o desenvolvimento da máquina a vapor deram um grande impulso nos processos de fabricação industriais.

Diante do cenário atual da indústria, verifica-se que há a necessidade de operações cada vez mais rápidas e que precisam estar atentas e atualizadas aos processos que se modernizam dia a dia. A indústria deve sempre se aprimorar para buscar os melhores acabamentos nas peças e realizar os processos de transformação da maneira mais eficiente possível. Existem inúmeras formas de produzir peças, como fundição, soldagem, conformação, etc, sendo a usinagem uma das principais. Ela tem como objetivo dar forma a uma matéria prima inicial, procedimento comum e presente em vários âmbitos, desde fabricação de automóveis até uma cópia simples de uma chave. Dessa forma, está presente em diversas indústrias, como a naval, a aeroespacial, eletrônica, etc.

Na Engenharia Mecânica, a usinagem também é usada como alternativa para reparações de maneira geral e também em acabamentos de acessórios de metal ou outros materiais, envolvendo o uso de máquinas como furadeiras e tornos. Diferente dos outros citados, a usinagem é o único processo que acontece com remoção de material da peça, em formatos irregulares, chamados cavacos.

Podemos definir a usinagem, segundo Netto (2005), como o:

processo de trabalhar uma peça bruta com máquina-ferramenta para lhe dar a forma final desejada, removendo material em forma de cavacos ou farpas. Envolve principalmente furação, torneamento, que corresponde a modelar ao torno por rotação da peça, ou fresamento, em que o metal é desbastado ou cortado (NETTO, 2005, p.11)

Na usinagem busca-se a utilização de ferramentas adequadas para a operação com cada tipo de material da peça. Essas ferramentas são, geralmente, controladas por programas de computadores para gerar formatos determinados e variáveis. Tais programas são de bastante ajuda, pois diminuem significativamente o tempo do processo de usinagem e apresentam uma precisão maior.

A usinagem, dentre todos os processos usados para moldar metais, é a que tem condições de operação mais variadas. Praticamente todos os metais e ligas existentes são possíveis de serem usinados, desde peças pequenas até as de grandes dimensões. Pode-se alcançar velocidades de corte bastante elevadas, como 3.500 metros por minuto, mas também se conseguem velocidades mais baixas com somente alguns centímetros por minuto, cabendo a observação necessária para identificar qual velocidade é mais adequada a cada tipo de usinagem. (TRENT, 2000)

É preciso ter em mente que o desgaste da ferramenta de corte é elevado, pois deve-se ao atrito constante entre os metais sob altas forças de contato que acabam deformando ou podem até mesmo causar uma quebra irreversível na aresta de corte da ferramenta, se utilizado da maneira incorreta.

Outro fator preocupante desse atrito constante é o aquecimento exagerado da ferramenta e da peça, que podem causar, segundo Netto (2005), “dois efeitos indesejáveis: alterações nas dimensões pretendidas e geração de tensões internas que podem comprometer a utilização da peça”.

Sendo assim, um dos recursos utilizados para minimizar esses e outros problemas são os fluidos de corte, que são uma mistura geralmente formada de água e óleo (nas devidas proporções), mais eficientemente utilizados em torneamento e fresamento, os processos mais comuns de usinagem.

Fluidos de corte são usados para refrigeração e lubrificação do contato entre a ferramenta e a peça utilizadas na usinagem, com o intuito de “introduzir uma melhoria no processo de usinagem dos metais” (FERRARESI, 1970, p.513). Outro fator que reforça a importância dos fluidos de corte é sua eficiência no resultado de peças com acabamentos mais precisos. Sem a utilização correta dos fluidos de corte, muitos processos não poderiam ser realizados de maneira eficiente.

Diversas são as formas como se pode aplicar os fluidos de corte durante o processo de usinagem. Os métodos de aplicação consistem na maneira como o fluido é direcionado na zona de corte. Dentre outras formas temos a aplicação manual, a aplicação por jato e a aplicação por névoa.

A aplicação manual consiste somente em um operador utilizando um recipiente contendo fluido e aplicando-o sobre a peça. Esse é o método mais simples, barato e fácil de ser realizado, embora seja questionado pela falta de uniformidade na aplicação.

A aplicação por jatos distribui o fluido por meio de um sistema interligado de tubos. Esses jatos devem ser ajustados para aumentar ou diminuir a pressão, direcionar

os jatos e regular seus tamanhos de acordo com o objetivo. Esse método de aplicação permite uma maior uniformidade na distribuição do fluido quando comparado ao método manual o que resulta em melhores acabamentos. Todavia, ele tem um custo mais elevado e necessita de uma maior quantidade de fluido de corte, o que prejudica o meio ambiente se não reutilizado e descartado da maneira correta.

Já o método de aplicação por névoa tem como principal ponto positivo a redução de resíduos, já que ele por não ser na forma líquida não precisa ser coletado enquanto utilizado. O principal fluido usado nesse método é o ar comprimido

Segundo Ferraresi (1970, p.513), os fluidos de corte podem trazer diversas melhorias no processo de usinagem, dentre elas:

Redução do coeficiente de atrito entre a ferramenta e o cavaco; expulsão do cavaco da região de corte; refrigeração da ferramenta; refrigeração da peça em usinagem; melhor acabamento superficial da peça em usinagem; refrigeração da máquina-ferramenta; redução do consumo de energia de corte; redução do custo da ferramenta na operação; impedimento da corrosão da peça em usinagem

Por outro lado, a utilização de fluidos de corte traz também desvantagens. Uma delas é a econômica, pois o custo desses fluidos é alto, agravado pela necessidade periódica de troca e da instalação e manutenção de um sistema de refrigeração. Além disso, “existe o custo ambiental devido à capacidade do fluido de poluir o meio ambiente e de causar danos à saúde dos operadores” (TEIXEIRA FILHO, 2006, p.20).

É importante ressaltar que existe também a usinagem a seco (onde não é utilizado nenhum fluido de corte), que pode ser utilizada como alternativa a fim de se evitarem os custos elevados com a utilização de fluidos de corte na operação, prevenirem os danos ambientais causados pelo descarte indevido desses fluidos e preservar a saúde do operador que lida com eles, que pode desenvolver alergias ou outros problemas devido ao contato com a pele ou à inalação dos vapores resultante dos fluidos.

Um dos materiais mais utilizados nos processos de usinagem são os aços. Existem mais de 250 tipos de aços inoxidáveis, divididos em 4 famílias baseadas na estrutura cristalográfica e na microestrutura da liga. São elas: austenita, ferrita, cementita e perlita. O aço é a liga metálica mais utilizada em usinagens, e também é utilizado para produzir outras ligas. Segundo Chiaverini (1988, p.21), “aço é a liga ferro-carbono geralmente 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, resultantes dos processos de fabricação”.

O ferro é o elemento principal na composição dos aços carbono. Tais aços possuem variadas quantidades de carbono e de elementos de liga, os quais determinam as propriedades do material que se deseja obter, como dureza, tenacidade, ductibilidade, etc. Os aços-carbono são o mais importante grupo de materiais usados na Engenharia e na Indústria. Seu teor de impureza corresponde a 2% de sua composição, no máximo (CASTRO, 2013)

O aço 1020, utilizado neste trabalho, possui 0,2% de carbono. Ele é comumente utilizado como engrenagens, eixos, colunas, para fazer parafusos, chassis, discos de roda etc, e tem boas soldabilidade e usinabilidade.

Sendo assim, sabe-se da importância de se investigar esses processos, com o propósito de aprimorá-los para melhor utilização na indústria. Além disso, há muitos trabalhos sobre a influência dos fluidos de corte sobre a refrigeração da peça, mas pouco se estudou sobre a forma como eles influenciam nos resultados de rugosidade final de peças, o que torna a experiência mais necessária ainda.

Assim, o objetivo principal consistiu em verificar a influência da concentração do fluido de corte na rugosidade de peças de aço 1020 trefilado através da usinagem por torneamento. Para respondermos a esse objetivo, tem-se como objetivos específicos:

- Utilizar o fluido de corte na proporção de 100% sobre uma peça de aço a ser usinada;
- Utilizar o fluido de corte na proporção de 60% óleo e 40% água em uma segunda peça de aço a ser usinada;
- Utilizar o fluido de corte na proporção de 40% óleo e 60% água em uma terceira peça de aço a ser usinada;
- Utilizar o fluido de corte na proporção de 20% óleo e 80% água em uma quarta peça de aço a ser usinada;
- Realizar a usinagem em uma quinta peça de aço na ausência do fluido de corte;
- Observar e comparar o resultado da rugosidade média nas cinco peças usinadas.

Apesar de todas as transformações no meio industrial, ainda existem pequenos prestadores de serviços locais, que atuam no ramo, que não têm capital suficiente para investir em máquinas sofisticadas e robustas para armazenar grandes quantidades de fluido. Um maquinário avançado amenizaria as perdas causadas pela má utilização de fluido ou desperdício. Todavia, esses equipamentos são de um custo elevado, motivo pelo qual essas pessoas utilizam inclusive métodos mais arcaicos de aplicação de fluido

de corte. Assim, justifica-se a importância deste trabalho para melhor compreender a real influência da concentração do fluido nesses processos e contribuir para melhorias no processo de produção também dessas empresas que se utilizam dele.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fluidos de corte

Como vários autores divergem quanto à classificação dos fluidos de corte, chega-se à conclusão de que não existe uma classificação padronizada e única sobre esses fluidos. Segundo Diniz, Marcondes e Coppini (2001), os fluidos de corte se classificam como:

- Ar
- Tipo Aquosos
- Óleos

Os fluidos de corte tipo aquosos ainda se subdividem em água e emulsões; E os fluidos de corte tipo óleos se subdividem em óleos minerais, óleos graxos, óleos compostos e óleos de extrema pressão.

2.1.1 Fluidos de corte tipo Ar

Sob alta pressão, o ar é injetado diretamente sobre a região de corte, com a intenção de refrigerar a peça e a ferramenta, embora seu poder de refrigeração seja pequeno. Esse processo ajuda bastante na remoção de cavacos da região de corte, evitando assim que haja um desgaste precoce da aresta da ferramenta de corte. (MICARONI, 2006). Segundo Diniz, Marcondes e Coppini (2001), esse tipo de fluido de corte é muito utilizado na usinagem do ferro fundido cinzento.

2.1.2 Fluidos de corte tipo Aquosos (água e emulsões)

A água é muito pouco utilizada na usinagem, apesar de ser o primeiro fluido usado como fluido de corte. Serve unicamente como refrigeração e tem-se como vantagens “grande abundância, baixo preço, não é inflamável e baixa viscosidade” (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2001, p.169). Sua utilização, todavia, causa corrosão em metais ferrosos.

As emulsões, para Teixeira e Filho (2006, p.27-28) “[...]são compostos de óleos minerais misturados com emulsificadores. Quando a mistura é adicionada em água e agitada, uma dispersão de pequenas gotas de óleo em uma fase contínua de água é

produzida, formando uma emulsão de óleo em água”. Os emulsificadores são responsáveis pela diminuição da tensão superficial da água e, com isso, propiciam uma dispersão bem distribuída do óleo na água.

As emulsões superam as desvantagens da água (de ação corrosiva e baixo poder de umedecer os metais) por possuírem óleo mineral, emulsificadores e inibidores de corrosão. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2001). Elas são, assim, mais utilizadas onde a necessidade de refrigeração é mais importante que a lubrificação.

2.1.3 Fluidos de corte tipo Óleos (óleos minerais, óleos graxos, óleos compostos e óleos de extrema pressão.)

Em comparação com a água, os óleos apresentam calor específico menor, o que os faz terem capacidade de refrigeração menor que as emulsões. Todavia, sua capacidade de lubrificação é melhor que a das emulsões.

Os óleos de baixa viscosidade são usados em operações de usinagem com uma velocidade de corte mais alta, enquanto os óleos mais viscosos são mais indicados para operações com uma menor velocidade de corte.

Os óleos minerais puros têm menor custo e são menos suscetíveis à oxidação do que os óleos graxos e os compostos. São bastante usados na usinagem de latão e aço baixo carbono por exemplo. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2001)

Outro tipo de óleo são os óleos graxos, que, segundo Diniz, Marcondes e Coppini (2001, p.170), "são óleos de origem vegetal e animal". Eles podem facilmente banhar a peça e a ferramenta e são bons lubrificantes, mas fracos anti-soldantes. São ótimos para obter peças com bom acabamento e sua capacidade de refrigeração é média. Esses óleos se deterioram com o tempo, pois vão se tornando viscosos, e, por conta disso, vêm sendo substituídos pelos óleos compostos ou pelos óleos de extrema pressão.

Já os óleos compostos são misturas de dois tipos de óleo: os minerais e os graxos. Eles são mais quimicamente estáveis, o que quer dizer que retardam a oxidação e não se tornam viscosos. Além disso, os óleos compostos são indicados para usinagem do cobre e para fresamento e furação. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2001)

Para finalizar, tem-se os óleos de extrema pressão, que são compostos por elementos que os faz suportar pressões elevadas sem que os faça vaporizar. Isso é indispensável em operações de "altas velocidades e profundidades de usinagem de

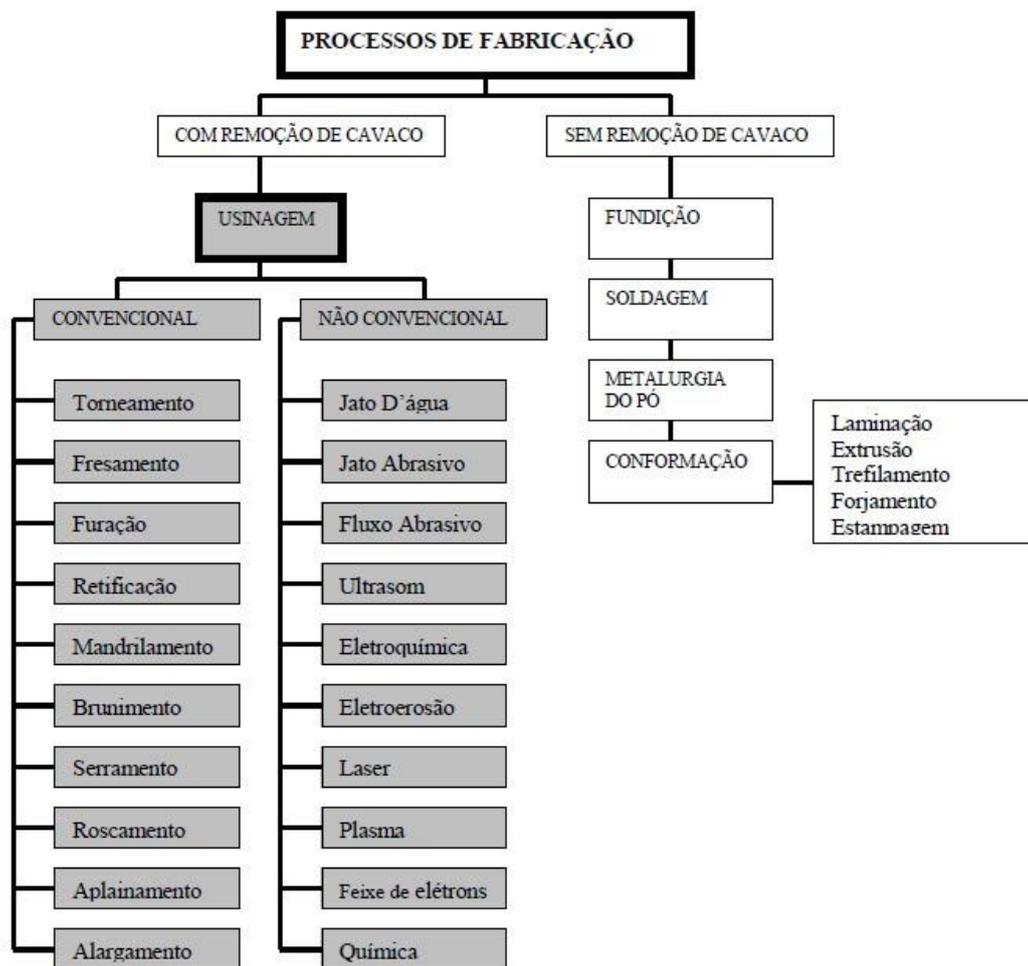
materiais que geram elevadas forças de corte" (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2001). É aconselhável e interessante adicionar óleos graxos sulfurizados ou não a esses óleos, para melhorar o acabamento da superfície que é usinada.

2.2 Usinagem

Como definição simples e sucinta, pode-se definir usinagem como todas as operações nas quais se objetiva dar forma a uma peça, utilizando ferramentas ou máquinas apropriadas, através da remoção de material da peça (cavaco). Segundo Ferraresi (1970, apud AMORIM, 2002, p.4), “como operações de usinagem entendemos aquelas, que, ao conferir à peça a forma, ou as dimensões ou o acabamento, ou qualquer combinação destes três itens, produzem cavaco”.

Existem vários exemplos de usinagem, dentre eles torneamento, furação, fresamento e retificação. Segundo a classificação de Machado et. al. (2009), os processos de usinagem são divididos em convencionais e não-convencionais. Dentre eles dá-se destaque ao torneamento, que será utilizado nos experimentos deste trabalho, classificado como processo convencional. A seguir, na Figura 1, tem-se um esquema classificativo dos processos de fabricação, com remoção ou não de cavaco.

Figura 1: Classificação dos processos de fabricação.



Disponível em: <<https://bit.ly/2zJ3oax>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

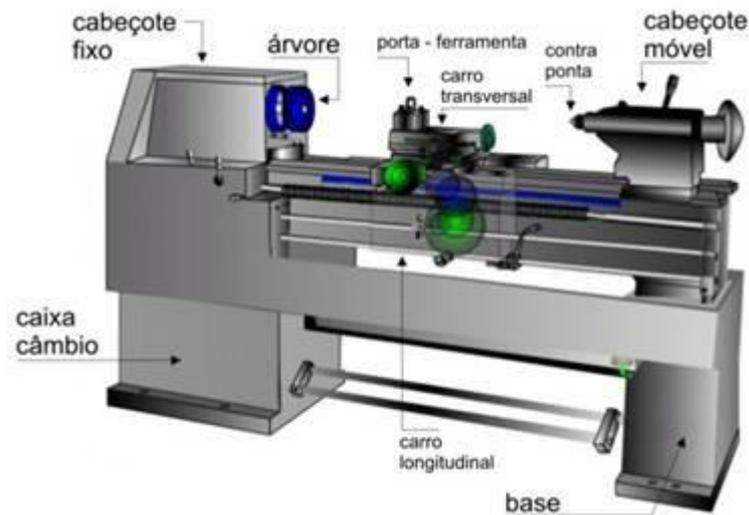
2.2.1 Torneamento

O torneamento é um processo de usinagem onde a peça executa o movimento rotativo de corte e a ferramenta o movimento translativo de avanço. Geralmente utiliza-se esse processo para obtenção de peças simétricas de revolução.

Segundo Trent (2000), o torneamento é a operação mais comumente empregada na usinagem de metais. A peça de trabalho a ser cortada é fixada ao mandril de um torno e em seguida é rotacionado. A ferramenta é presa rigidamente ao porta-ferramenta, movendo-se a uma taxa constante ao longo do eixo de rotação da peça, tirando da peça uma camada de metal para formar um cilindro ou uma superfície mais complexa.

A seguir, na Figura 2, tem-se uma ilustração de um torno mecânico, indicando seus componentes.

Figura 2: Torno mecânico.



Disponível em: <<https://bit.ly/2JTdbPZ>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

Cabeçote fixo: extremidade esquerda do torno. Nele situam-se a caixa de câmbio e a árvore.

Cabeçote móvel: é um dispositivo de apoio para peças a serem usinadas que através de um cone Morse pode fixar um mancal de apoio (contra-ponta) ou um mandril para realização de furos nas peças.

Contra-ponta: mancal de apoio para a peça.

Árvore: eixo principal do torno onde se fixa a placa.

Caixa de câmbio: relação de engrenagens que regulam variadas velocidades do eixo principal.

Porta-ferramentas: lugar onde se fixa a ferramenta de corte.

Carros: composto pelos carros longitudinal, transversal e orientável, que servem para fixação e deslocamento da ferramenta com relação à peça.

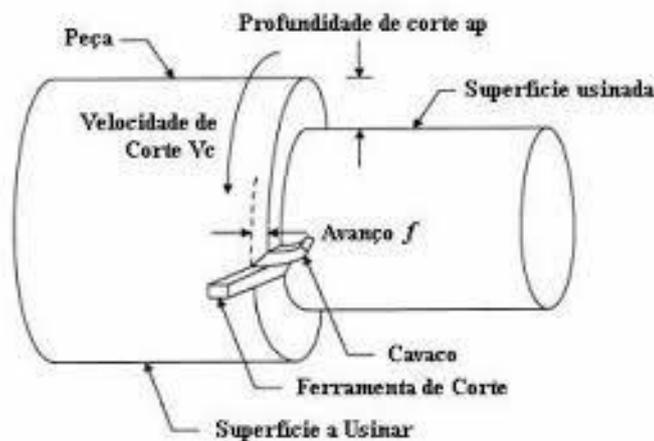
Base: estrutura de sustentação da máquina.

É importante salientar ainda, que, segundo Amorim (2002), há três características próprias do torneamento que não se observa em muitos outros processos de usinagem. São elas a característica do corte ser normalmente contínuo, o corte poder ser descrito

em coordenadas cilíndricas e os movimentos da peça e da ferramenta ocorrerem simultaneamente.

A seguir, tem-se a Figura 3, apresentando os parâmetros de corte e superfícies em um torneamento cilíndrico externo.

Figura 3: Parâmetros de corte e superfícies em torneamento cilíndrico externo.



Fonte: Nascimento (2008, apud AMORIM 2002).

Baseado em Diniz; Marcondes; Coppini (2001) e Amorim (2002), pode-se classificar os parâmetros de corte da seguinte forma.

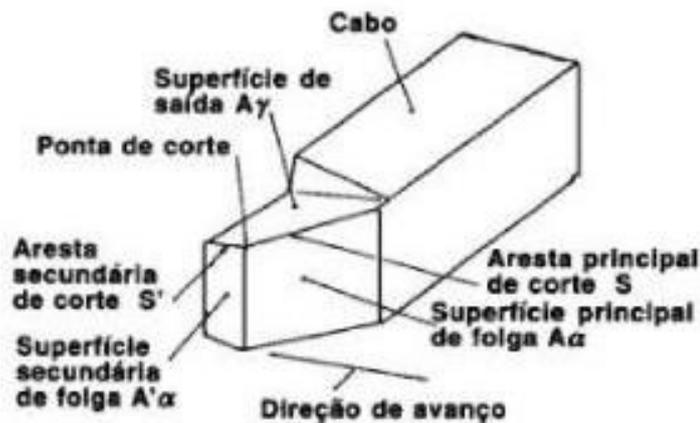
Velocidade de corte (V_c): taxa na qual a superfície a ser usinada passa pela aresta de corte da ferramenta, resultante da rotação da ferramenta ao redor da peça (expressa em m/min).

Avanço (f): é o percurso de avanço da ferramenta por cada revolução da peça.

Profundidade de corte (a_p): é a profundidade de penetração da ferramenta em relação à peça, medida perpendicularmente ao plano de trabalho.

Na Figura 4, tem-se o desenho esquemático de uma ferramenta de corte:

Figura 4: Geometria da ferramenta de corte.



Fonte: Machado et al (2009).

Segundo Machado et al (2009), a geometria da ferramenta de corte, mostrada na Figura 4, influencia de maneira significativa no resultado final da peça usinada. Podemos conceituar, segundo Machado et al (2009) e Diniz; Marcondes; Coppini (2001), cada componente da ferramenta da seguinte maneira:

Ponta de corte: é a parte da cunha da ferramenta, local de encontro da aresta principal e secundária de corte através de um arredondamento ou de um chanfro.

Superfície de saída ($A\gamma$): é a superfície da ferramenta que forma o cavaco e sobre a qual ele desliza para fora da região de trabalho após ser cortado.

Superfície principal de folga ($A\alpha$): é a superfície que determina a folga entre a ferramenta e a superfície em usinagem secundária, na qual está contida a aresta principal de corte.

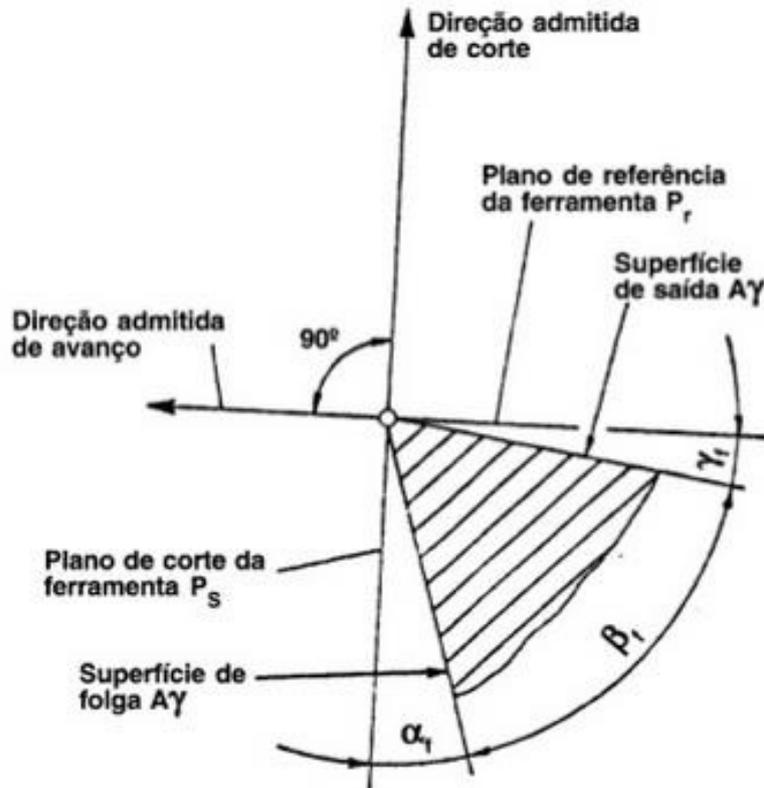
Superfície secundária de folga ($A'\alpha$): é a superfície que determina a folga entre a ferramenta e a superfície em usinagem principal, na qual está contida a aresta secundária de corte.

Aresta principal de corte (S): formada pela divisão das superfícies de saída e de folga principal e responsável pela geração da superfície em usinagem principal.

Aresta secundária de corte (S'): formada pela divisão das superfícies de saída e de folga secundária e responsável pela geração da superfície em usinagem secundária.

Para melhor análise, tem-se a Figura 5, demonstrando os ângulos de saída, de cunha e de folga da ferramenta, com suas devidas especificações

Figura 5: Ângulos de saída, de cunha e de folga da ferramenta.



Fonte: Diniz; Marcondes; Coppini (2001).

Primeiramente, tem-se o ângulo de cunha (β_f), que, segundo Machado et al (2009), é o ângulo entre a superfície de saída e a superfície de folga, e é definido pelo formato da ferramenta. Ele pode assumir valores entre 60° e 90° . Sua função é garantir a resistência da ponta da ferramenta e sua capacidade de espalhar calor.

Já o ângulo de saída "é o ângulo entre a superfície de saída e o plano de referência da ferramenta" (DINIZ; MARCONDES; COPINNI, 2001, p.39). Ele varia entre -8° e 20° e influencia de maneira decisiva na força e na potência necessárias para a realização do corte, já que quanto maior o ângulo de saída, menor o trabalho de dobramento do material do cavaco.

Por fim, conceitua-se o ângulo de folga como sendo o ângulo entre a superfície de folga e o plano de corte da ferramenta. (DINIZ; MARCONDES; COPINNI, 2001). Esse ângulo varia de 5° a 20° e sua importância se dá pelo fato de ele ser o responsável por evitar o atrito entre a peça e a superfície de folga da ferramenta. Contudo, seu valor não

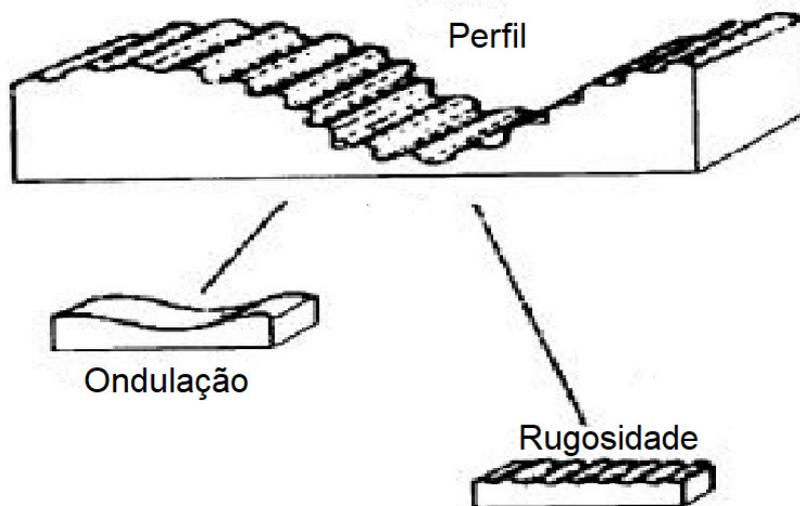
pode ser muito baixo ou muito alto, pois, sendo muito baixo, a cunha não penetra adequadamente na peça, e, sendo muito alto, a cunha da ferramenta perde resistência, podendo até quebrar. (MACHADO ET AL, 2009).

2.3 Rugosidade

A rugosidade é um conjunto de desvios microgeométricos e ainda, segundo Novaski (2013, p.135) “é formada por sulcos ou marcas deixadas pela ferramenta que atuou sobre a superfície da peça e se encontra superposta ao perfil de ondulação”. Ela tem como características pequenas saliências e reentrâncias que se apresentam em uma superfície.

A Figura 6 apresenta o perfil composto da rugosidade e das ondulações, visto pelo microscópio.

Figura 6: Perfil de rugosidade



Disponível em: <<https://bit.ly/2POoUoi>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

Segundo Amorim (2012, p.22), as irregularidades das superfícies “[...] estão presentes em todas as superfícies reais, por mais perfeitas que estas sejam, e muitas vezes constituem uma herança do método empregado na obtenção da superfície (torneamento, fresamento, furação)”.

O estudo da rugosidade superficial tem como finalidade o controle do processo de fabricação. A rugosidade de uma superfície é medida através do uso de diversos tipos de aparelhos, chamados rugosímetros, sendo os eletromecânicos os mais utilizados. É importante ressaltar que os parâmetros de rugosidade são valores numéricos que são “resultantes de integrações ou de operações matemáticas simples de perfis amostrais de superfícies. Logo, são representações sujeitas a diversos erros de medição e interpretação” (FACCIO, 2002, p.72).

Todavia, sua importância não deve ser negada. A rugosidade tem um papel determinante no comportamento dos sistemas mecânicos, tanto na montagem quanto durante o trabalho do equipamento. Para Faccio (2002) ela deve ser sempre considerada no processo de usinagem. Vários fatores importantes para a fabricação de peças são determinados pelo estudo sobre a rugosidade. Dentre os citados por Amorim (2012) tem-se como principais:

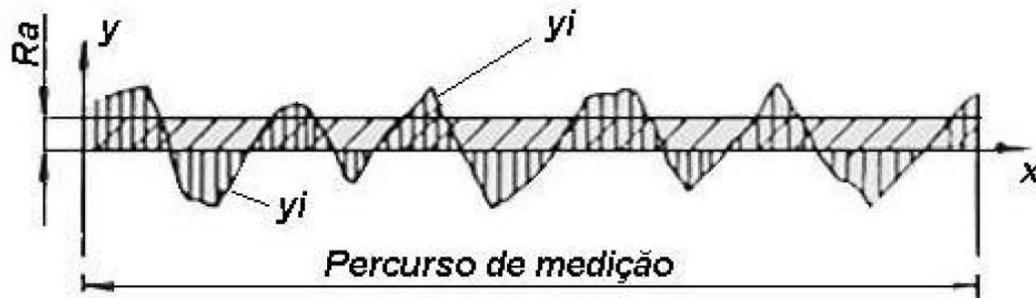
- Precisão e tolerância: peças com superfícies mais rugosas se expõem a desgastes mais intensos quando em atrito com outras superfícies;
- Resistência à corrosão: peças com acabamentos superficiais mais grosseiros se tornam mais vulneráveis à corrosão, pois retém maior quantidade de líquidos e vapores;
- Transmissão de calor: quanto menor a rugosidade de uma superfície, maior a área de contato entre esta e outra superfície, aumentando assim a transferência de calor entre as duas superfícies.

Existem parâmetros que são utilizados para medir o acabamento superficial de um componente, como a rugosidade média (R_a). Embora possua como desvantagem não apresentar a diversidade de valores de rugosidade, bem como os picos e vales, ele é o parâmetro mais utilizado (FACCIO, 2001). A rugosidade média, geralmente medida em μm , é a “média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição” (DOTTO *et al*, 2014). Ela “pode ser representada como a altura de um retângulo com área igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e a linha média, e comprimento igual ao percurso de medição” (AMORIM, 2002, p.23-24). A Equação 1 a seguir é utilizada para se calcular a rugosidade média, onde l_m é o percurso de medição.

$$Ra = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y(x)| dx, \quad (1)$$

A Figura 7 traz a representação da rugosidade média (Ra) medida em um determinado percurso.

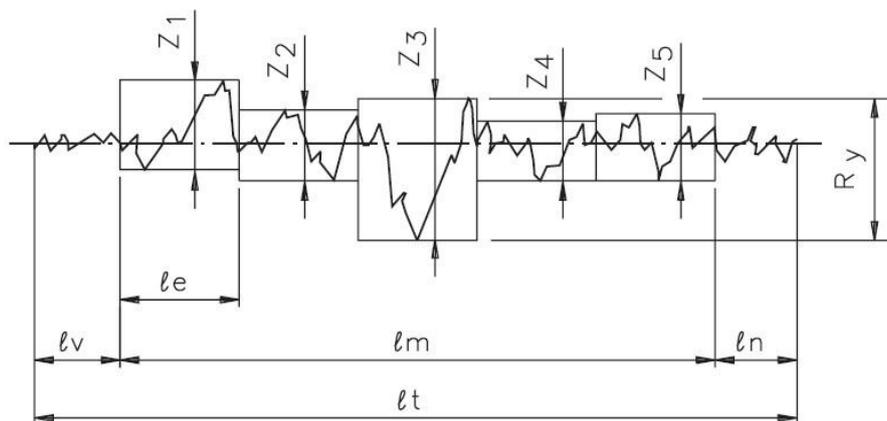
Figura 7: Representação da Rugosidade média (Ra)



Fonte: Amorim (2002)

A rugosidade máxima (Ry) é o maior valor das rugosidades parciais que se apresenta no percurso da medição. A seguir, a Figura 8 traz a representação da rugosidade máxima.

Figura 8: Representação da rugosidade máxima (Ry)



Fonte: Apostila Telecurso 2000

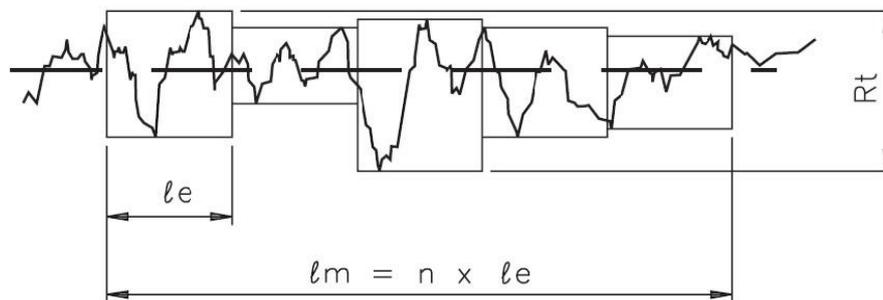
Por exemplo, na Figura 8, temos o $Z3$ como sendo a rugosidade máxima, por ser o maior valor parcial do percurso de medição.

Esse parâmetro tem como vantagens, por exemplo, informar sobre a máxima deterioração da superfície vertical da peça e fornecer informações complementares ao

parâmetro Ra (rugosidade média). Já como desvantagens tem-se o fato de que nem todo equipamento fornece esse parâmetro. Além disso, ele pode mostrar uma imagem errada da superfície, que não foi formada pelo processo de usinagem, como um risco ou avaria alheios ao processo.

Outro parâmetro importante é a rugosidade total (Rt), que tem características próximas às do Ry. Todavia, o Rt é mais rígido em sua avaliação, pois considera o comprimento da amostra igual ao comprimento de avaliação e o seu gráfico de superfície é de mais fácil obtenção. Como desvantagem, tamanha rigidez pode levar a resultados enganosos (TELECURSO 2000). Observe a Figura 9 que mostra uma representação gráfica da rugosidade total (Rt).

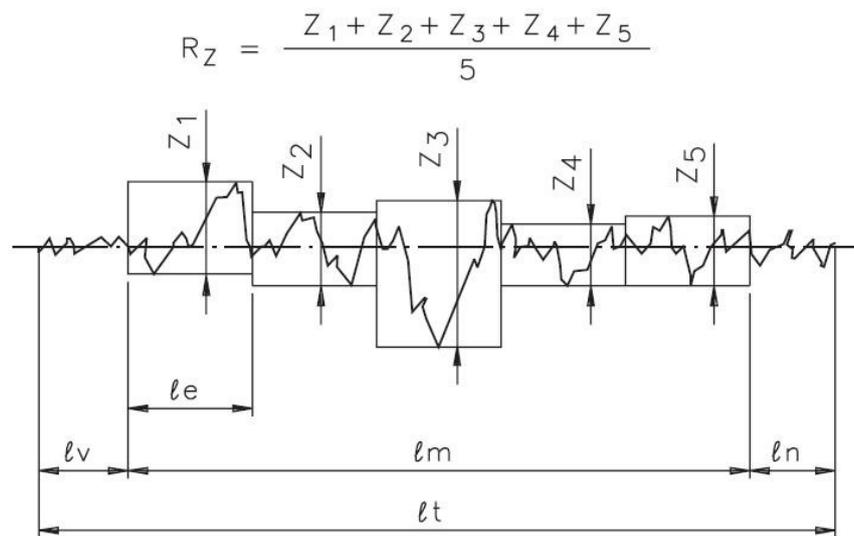
Figura 9: Representação da rugosidade total (Rt)



Fonte: Apostila Telecurso 2000.

Também se tem a rugosidade média total, representada pela sigla Rz, que corresponde à média aritmética dos 5 valores de rugosidade parcial (TELECURSO 2000). Dito de outro modo, “[...]Rz é a distância média entre os 5 picos mais altos e os 5 vales mais profundos, dentro de um comprimento medido” (FACCIO, 2002, p.81). Ela pode ser representada pela Figura 10:

Figura 10: Representação da rugosidade média total (R_z)



Rugosidade parcial Z_i para definir R_z .

Fonte: Apostila Telecurso 2000

Esse parâmetro tem algumas vantagens, como informar a distribuição média da superfície vertical e ser de fácil obtenção em equipamentos que fornecem gráficos. O R_z , isoladamente, pode ser considerado mais sensível a mudanças no acabamento superficial que a rugosidade média (R_a), pois somente alturas máximas de perfis são comparadas e analisadas, e não suas médias (FACCIO, 2002).

Como desvantagens destaca-se que ele não possibilita nenhuma informação sobre a forma do perfil, bem como da distância entre as ranhuras (TELECURSO 2000).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Tomando como base a classificação de Gil (2002), esta pesquisa classifica-se como explicativa, bibliográfica e experimental. Explicativa porque “têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos” (GIL, 2002, p.42). Além disso, esse tipo de pesquisa procura explicar a razão das coisas, sendo, por isso, o tipo mais delicado, facilitando o cometimento de erros. As pesquisas explicativas nas ciências naturais, ainda segundo Gil, quase sempre se valem do método experimental.

Bibliográfica, porque toma como base materiais já elaborados, principalmente livros e artigos científicos da área.

Por fim, é experimental porque o experimento é utilizado, sendo o melhor exemplo de pesquisa científica. Assim,

Essencialmente, a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. (GIL, 2002, p.47)

O pesquisador, no experimento, é um agente ativo e não um observador passivo.

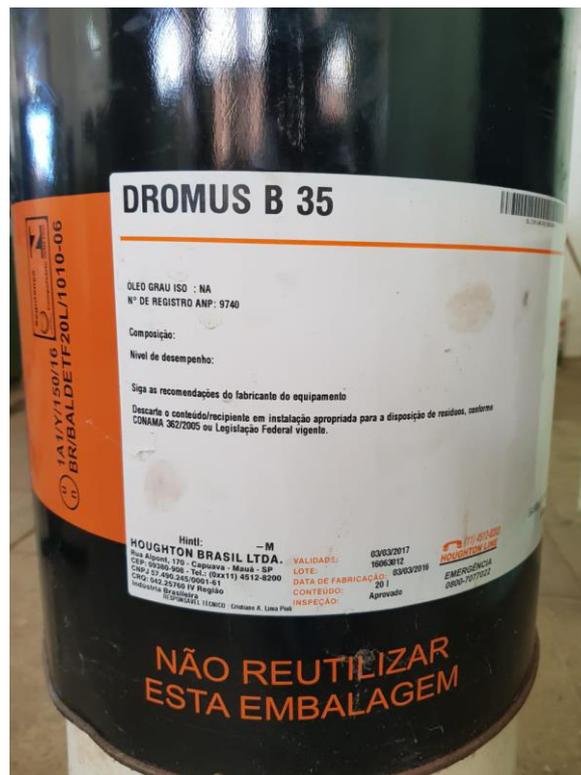
Todos os procedimentos descritos a seguir foram realizados na Oficina do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará.

3.1 O fluido de corte

O DROMUS B 35 é um fluido de corte solúvel, que contém óleo mineral na sua formulação. Foi desenvolvido para refrigeração e lubrificação universal de operações de corte. Quando misturado com água forma uma emulsão leitosa, apresentando uma boa estabilidade, alta lubricidade e uma ótima proteção contra a corrosão. A concentração proposta recomendada varia de acordo com operação de corte e da proteção requerida para as peças trabalhadas.

Utilizou-se 4 garrafas contendo fluido de corte, formado por água diluída em óleo mineral DROMUS B 35. Cada garrafa continha uma concentração específica de fluido, com valores de 100%, 60%, 40%, 20% de óleo, e a última usinagem foi realizada sem fluido de corte. A Figura 11 mostra o fluido utilizado no experimento.

Figura 11: Fluido de corte.



Fonte: Próprio autor

3.2 A ferramenta

A ferramenta de corte utilizada foi uma pastilha de carboneto metálico triangular (metal duro). Por ser uma ferramenta de elevada dureza, ela é altamente rígida e resistente a qualquer tipo de desgaste. Na Figura 12 tem-se a foto da ferramenta utilizada.

Figura 12: Ferramenta de corte



Fonte: Próprio autor

A ferramenta de corte tem as seguintes dimensões: ângulo de ataque de 40° ; ângulo de folga de 5° e ângulo de saída de 0° .

3.3 Peças de aço

Foram usadas 5 peças de aço 1020 trefilado, medindo 100 milímetros (mm) de comprimento e uma polegada (in) de diâmetro cada, a serem usinadas nas condições descritas a seguir. Na figura 13 tem-se as 5 peças de aço 1020 utilizadas na usinagem.

Figura 13: Amostras de aço 1020 utilizadas na usinagem

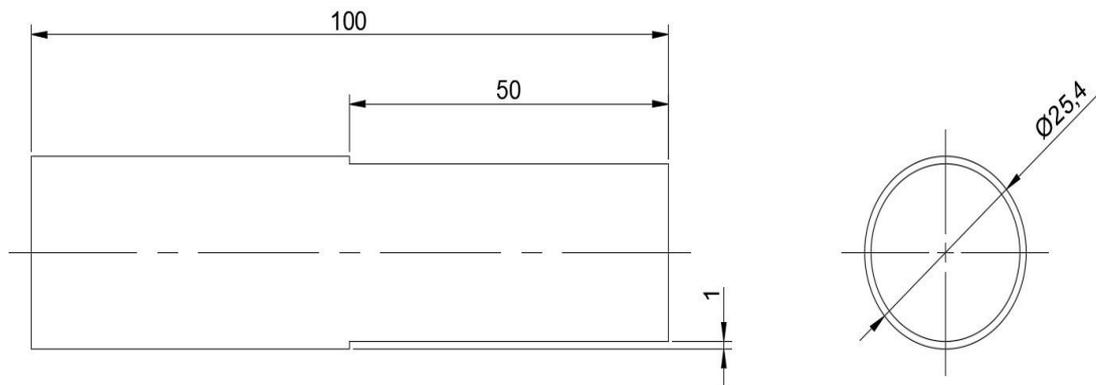


Fonte: Próprio autor

A composição química do aço 1020 é de 0,3% a 0,6% de manganês (Mn); 0,18% a 0,23% de carbono (C); 0,05% de enxofre (S); 0,04% de fósforo (P); o restante é constituído de ferro (Fe).

A seguir, a figura 14 representa o croqui da peça de aço usinada.

Figura 14: Croqui da peça



Fonte: Próprio autor

Os valores representados na Figura 14 estão em milímetros (mm).

3.4 Torno mecânico

A máquina de torno utilizada para a usinagem foi uma convencional horizontal. É importante salientar que o torno utilizado era uma máquina antiga, o que, juntamente com outros fatores, podem ter influenciado nos resultados finais, devido às dificuldades de realização do experimento. Na Figura 15, tem-se a foto do torno.

Figura 15: Torno mecânico utilizado na usinagem.



Fonte: Próprio autor.

Por ser uma máquina antiga, esse tipo de torno tem rotação limitada, não ultrapassando 1000 rpm.

3.5 Rugosímetro

Para a obtenção dos resultados das rugosidades das peças usinadas foi utilizado um rugosímetro eletromecânico Mitutoyo SJ-201, composto por uma agulha com ponta de diamante presa a uma haste que se movimenta axialmente em relação à peça. Ele pode ser visto na Figura 16.

Figura 16: Rugosímetro Mitutoyo SJ-201.



Fonte: Mitutoyo.

Esses resultados foram obtidos no Laboratório de Metrologia (LAMETRO) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará.

3.6 Condições de usinagem

Foram fixados valores para todas as amostras, sendo eles o avanço (f), fixado em 0,138 mm/rev, a profundidade de corte (a_p) com o valor de 1 mm e a rotação do torno, de 1000 rpm, conforme Tabela 1:

Tabela 1: Condições de usinagem

Concentração do fluido de corte	Rotação [rpm]	Avanço [mm/rev]	Profundidade de corte [mm]
100%	1000	0,138	1
60%			
40%			
20%			
0%			

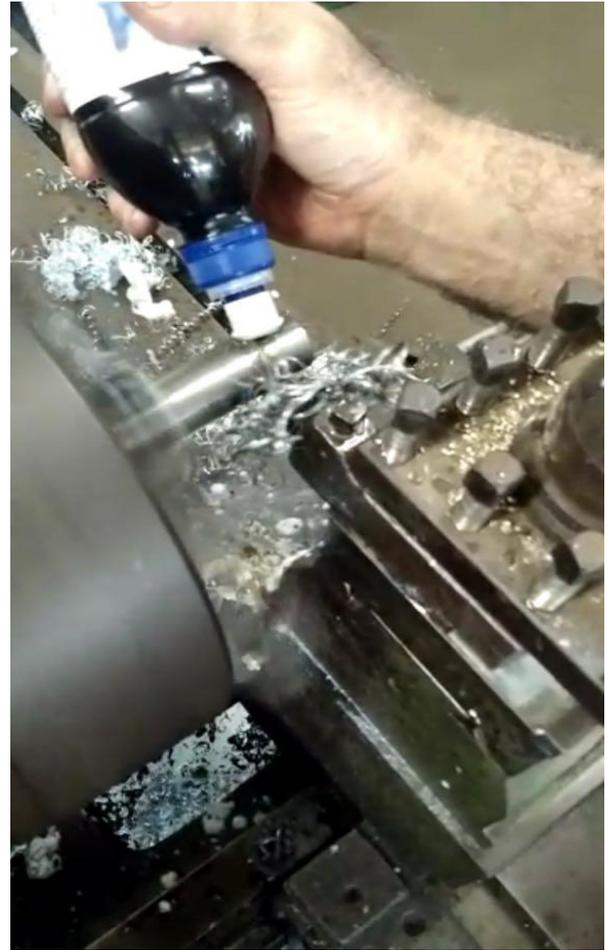
Fonte: Próprio autor

3.7 Descrição do processo

Inicialmente, foram utilizadas 5 peças de aço iguais com dimensões já descritas, a serem utilizados nos 5 processos de usinagem, de acordo com as diluições também descritas de cada experimento (100%, 60%, 40%, 20% de óleo, e a última usinagem realizada sem fluido). Assim, realizou-se o experimento em cada peça, utilizando-se uma concentração de volume de fluido por vez, conforme visto anteriormente, e a última sem nenhum fluido de corte. Cada peça teve metade do seu comprimento usinado, o que corresponde à 5 cm de cada amostra.

A Figura 17 mostra o momento das usinagens, com a aplicação manual do fluido.

Figura 17: Realização das usinagens



Fonte: Próprio autor.

Ao final, as medições de rugosidade foram feitas em três áreas distintas de cada peça, deslocando-as axial e radialmente, resultando em três valores de rugosidade, para então ser tirada o valor médio de Ra de cada amostra. Esse procedimento é comum, pois a rugosidade varia ao longo do comprimento da peça e devemos ter uma maior confiabilidade dos valores, tentando chegar o mais próximo possível do valor real. O comprimento de amostragem de rugosidade “cut-off” foi de 2,5 mm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

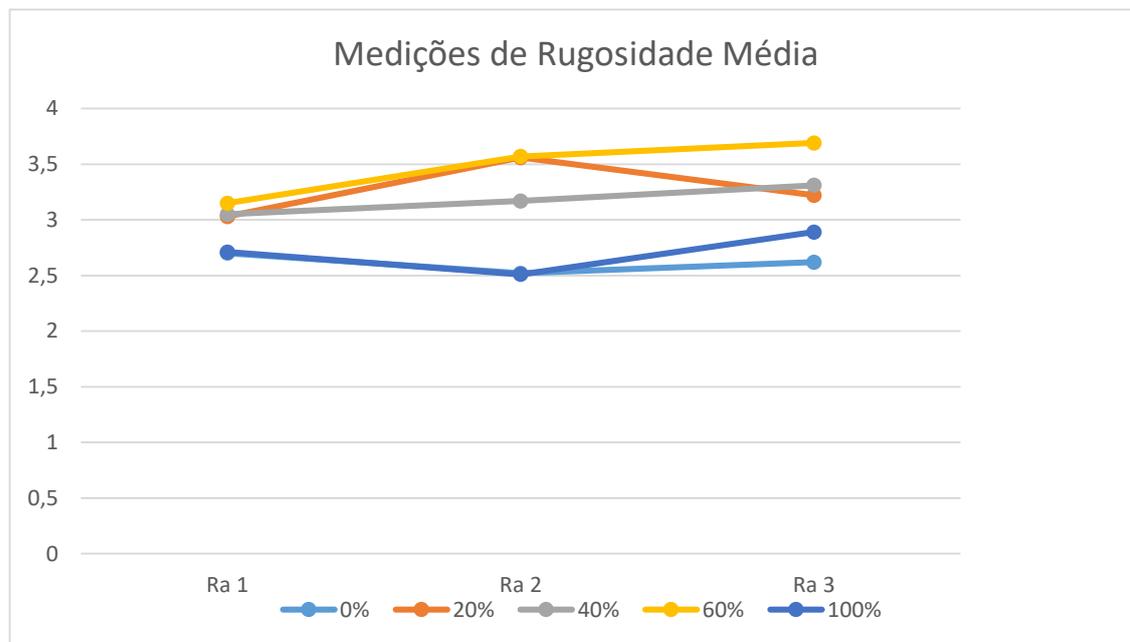
Após as medições, foram encontrados os seguintes valores de rugosidade média para cada concentração de fluido de corte, conforme mostrado na Tabela 2 e no Gráfico 1.

Tabela 2: Resultados das medições de rugosidade média (Ra)

Concentração do fluido de corte	Medições de Rugosidade Média [μm]			
	Ra 1	Ra 2	Ra 3	Ra Médio
100%	2,71	2,51	2,89	2,70
60%	3,15	3,57	3,69	3,47
40%	3,05	3,17	3,31	3,18
20%	3,03	3,56	3,22	3,27
0%	2,70	2,52	2,62	2,61

Fonte: Próprio autor

Gráfico 1: Medições de Rugosidade Média (Ra)



Fonte: Próprio Autor

Primeiramente, é importante salientar que não houve formação de gume posição na ferramenta ou outro tipo de defeito, como quebra de aresta. Isso confere maior credibilidade aos resultados finais.

Pode-se dizer que, de acordo com os resultados obtidos, notou-se que, para a rugosidade média (Ra), a diferença entre os acabamentos superficiais de cada amostra não é facilmente perceptível. Mesmo com as medidas do rugosímetro vemos que as diferenças entre a maior e a menor medição não ultrapassam $1\mu\text{m}$.

A Tabela 2 nos mostra que os resultados foram muito próximos, o que se leva a concluir que o fluido de corte em diferentes concentrações acaba não tendo um papel decisivo no acabamento superficial da peça. A pouca diferença entre os resultados pode ser explicada, além da utilização de um método manual de aplicação do fluido, pelo desgaste da própria ferramenta (percebido pelo arredondamento do seu raio de ponta e pelo desgaste do gume).

Analisando o Gráfico 1, vê-se que tanto o valor de 0% e o de 100% foram os que tiveram os resultados mais baixos e bem próximos um do outro, ainda que a diferença seja quase insignificante. Isso significa que eles apresentaram melhor acabamento superficial, devido ao fato de que tanto na concentração de 0% quanto na de 100% não tem a presença de água, responsável pela refrigeração da zona de corte. Assim, a temperatura da região de corte se eleva, facilitando a usinagem, pois altas temperaturas na região a tornam mais maleável, suavizando o corte. Estes resultados, por sua vez, apresentaram valores um pouco distante dos resultados das outras concentrações. Porém, acredita-se que os dados de rugosidade seriam mais discrepantes se fossem utilizados métodos mais eficazes e melhor elaborados de aplicação de fluido.

5. CONCLUSÕES

Deve-se lembrar primeiramente que como a agulha distorce a superfície a ser analisada, não é possível se ter uma medição perfeita de rugosidade.

Observando os resultados, podemos explicar que a diferença de rugosidade entre as amostras, quase imperceptível, é influenciada também pelo desgaste da ferramenta ao longo da sequência de usinagens realizadas.

Como comprovado no experimento, a concentração de fluido de corte pouco influencia no resultado final da usinagem. Os resultados de rugosidade encontrados foram muito próximos, o que implica dizer que nos casos dos pequenos trabalhadores se torna mais viável a utilização de fluido de corte menos concentrado, ou até a não utilização de fluido em certos casos, pois além de economizar eles estarão contribuindo para sua própria saúde, já que o contato constante com o fluido aliado ao manuseio inadequado, pode trazer vários riscos à sua saúde. Além disso, o fluido de corte exige um descarte correto e cuidadoso para que não prejudique o meio ambiente, pois é considerado um agente altamente poluidor.

Por isso deve-se cada vez mais tentar descobrir formas de melhorar esses processos a fim de se auxiliar na continuação e manutenção dessas pequenas empresas.

Atualmente muito se fala que o mercado tende a utilizar a usinagem a seco, pois, apesar dos benefícios já citados dos fluidos de corte (lubrificação e refrigeração, por exemplo), eles podem causar danos ao meio ambiente, pois seu descarte tem uma legislação severa e, além disso, causar danos também à saúde do operador. Todavia, a utilização da usinagem a seco deve ser muito bem analisada caso a caso. Existe também a opção pela técnica de Mínima Quantidade de Fluido (MQF), que utiliza apenas uma pequena quantidade de óleo que é pulverizada na região do corte a fim de reduzir o atrito entre a peça e a ferramenta. A quantidade de fluido aplicada varia de acordo com o volume dos cavacos e com o processo de usinagem utilizado. Essa técnica vem apresentando resultados satisfatórios em diversas situações em que foi aplicada, mas precisa de investimentos em equipamentos necessários para o bom funcionamento do sistema de dosagem, o que torna, segundo alguns autores, necessário também um estudo de viabilidade econômica.

É importante frisar que os resultados obtidos com este experimento são focados nas condições aqui descritas, não servindo para usinagens realizadas em melhores condições e com melhores máquinas. Assim, sabe-se da importância de experimentos

investigativos sobre usinagem, como forma de torná-la cada vez mais aprimorada. Obviamente, usinagens realizadas com máquinas mais atuais e em melhores condições, bem como com métodos mais sofisticados, poderiam trazer resultados diferentes.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, Heraldo José de. Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2002.
- CASTRO, Dênis de Freitas. Estudo da corrosão do aço 1020 no solo natural argiloso da região amazônica. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos da Amazônia. Universidade Federal do Amazonas, 2013.
- CHIAVERINI, Vicente. Aços e ferros fundidos. 6ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1988.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N.L. Tecnologia da Usinagem dos Materiais, 3ª ed., São Paulo: Artiber Editora, 2001.
- DOTTO, Ariel Rugiéri *et al.* Influência das condições de usinagem por torneamento na rugosidade da peça. 4ª Semana Internacional de Engenharia e Economia FAHOR (Faculdade Horizontina). Horizontina, 2014.
- FACCIO, I. Investigação sobre o acabamento superficial de usinagens com altíssimas velocidades de corte. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- FERRARESI, D. Fundamentos da Usinagem dos Metais. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1970.
- GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- LAY-ANG, Giorgia. "Microscopia"; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/biologia/microscopia.htm>>. Acesso em 03 de outubro de 2016.
- MACHADO, Álisson Rocha; ABRÃO, Alexandre Mendes; COELHO, Reginaldo Teixeira; SILVA, Márcio Bacci da. Teoria da Usinagem dos Materiais. Revisão técnica: Rosalvo Tiago Ruffino. Editora Blucher, 2009.
- MICARONI, Ricardo. Influência do fluido de corte sob pressão no processo de torneamento do aço ABNT 1045. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006. 149 p. Dissertação de Doutorado.
- NASCIMENTO, F. A. Avaliação da usinabilidade do aço inoxidável martensítico AISI 410. Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2008.
- NETTO, Carmo Gallo. Linha de pesquisa da Faculdade de Engenharia Mecânica destaca-se na área de usinagem de materiais: A última forma. In: Site da Universidade

Estadual de Campinas (UNICAMP). Edição 298 - 22 a 28 de agosto de 2005. Disponível em http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/agosto2005/ju298pag11.html.

NOVASKI, Olívio. Introdução à Engenharia de Fabricação Mecânica. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2013.

TEIXEIRA FILHO, Fernando. A utilização de fluido de corte no fresamento do aço inoxidável. Campinas, SP: [s.n.], 2006.

TELECURSO 2000. Apostila profissionalizante de Mecânica – Metrologia. ISBN 8525016705. 1. ed. 2013.

TRENT, M. C.; WRIGHT, P. K.. Metal Cutting Principles. 4.ed. USA: Butterworth-Heinemann, 2000.

ZEILMANN, Rodrigo Panosso. Tendência aponta para a usinagem a seco. Artigo para o Noticiário de Equipamentos Industriais – NEI. Disponível em <http://www.nei.com.br/artigo/tendencia-aponta-para-a-usinagem-a-seco>.