

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS INTEGRADA DO PONTAL
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARCIO YOSHIO OYAFUSO
RANIERI HENRIQUE DA SILVA

ACABAMENTO SUPERFICIAL E ANÁLISE ECONÔMICA DO
TORNEAMENTO DE UM AÇO 1050 COM FLUIDOS DE CORTE

Ituiutaba - MG
2018

MARCIO YOSHIO OYAFUSO
RANIERI HENRIQUE DA SILVA

ACABAMENTO SUPERFICIAL E ANÁLISE ECONÔMICA DO
TORNEAMENTO DE UM AÇO 1050 COM FLUIDOS DE CORTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Uberlândia – FACIP – como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.
Orientadora: Prof^ª. Déborah Oliveira Almeida Carvalho.

Ituiutaba - MG
2018

TERMO DE APROVAÇÃO

ACABAMENTO SUPERFICIAL E ANÁLISE ECONÔMICA DO TORNEAMENTO DE UM AÇO 1050 COM FLUIDOS DE CORTE

por

Márcio Yoshio Oyafuso
Ranieri Henrique da Silva

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado 14 horas do dia 29 de Junho de 2018, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Uberlândia, Campus Pontal. Os candidatos foram avaliados pela Banca Examinadora composta por Prof. Gleyzer Martins, Prof. Marcus Vinícius Ribeiro Machado e Prof^a. Déborah Oliveira Almeida Carvalho. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Gleyzer Martins

Prof. Marcus Vinícius Ribeiro Machado

Prof^a. Déborah Oliveira Almeida Carvalho
Orientadora

Dedico esse trabalho aos meus pais, meus avós, meu irmão, minha irmã e amigos que me apoiaram e acreditaram em mim. Agradeço aos meus professores e, em especial, à minha orientadora Prof^a. Déborah Oliveira Almeida Carvalho pela paciência e pela auxílio em finalizar essa etapa.

Marcio Yoshio Oyafuso

Dedico esse trabalho aos meus pais, ao meu irmão e aos meus familiares que me apoiaram durante essa caminhada. Agradeço também a minha orientadora Prof^a. Déborah Oliveira Almeida Carvalho e a todos os professores que foram tão importantes durante a minha vida acadêmica.

Ranieri Henrique da Silva

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pois sem ele nada disso seria possível.

Agradeço a minha família, que sempre esteve ao meu lado, me orientando e acreditando em mim.

Aos meus professores, por terem sido pacientes e dedicados a ponto de me proporcionar conhecimentos sobre as importantes áreas da engenharia de produção, e compartilharem experiências profissionais importantes para mim.

A todos meus amigos de Ituiutaba, que se tornaram minha família durante toda a graduação, dos quais sem eles, não poderia ter chegado aonde cheguei. E agradeço também aos meus amigos de Araraquara que, mesmo longe, sempre me apoiaram.

Agradeço a minha orientadora Deborah Oliveira Almeida Carvalho, e a todos os colaboradores que proporcionaram para o estudo desse trabalho de conclusão de curso.

Marcio YoshioOyafuso

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer a Deus, que guia a minha vida e me protege de todo o mal.

Agradeço aos meus pais, Carlos Roberto da Silva e Silvia Helena Mengali da Silva, por serem minha base durante essa trajetória, sempre me amparando e incentivando para conquistar os meus objetivos. Ao meu irmão Rudney Hendrigo da Silva agradeço por todo o apoio, paciência e irmandade.

Agradeço também aos meus professores pela dedicação, postura e por todos os ensinamentos durante esses anos, principalmente a Prof^a. Déborah Oliveira Almeida Carvalho, pela orientação, confiança e empenho na realização desse trabalho.

A Ana Beatriz agradeço por todo companheirismo, carinho, apoio e confiança que me proporcionou concluir mais essa etapa. Aos meus amigos, agradeço pela amizade preciosa, pelas risadas e pela parceria durante toda essa trajetória.

Ao meu amigo e parceiro Marcio que juntos superamos todos obstáculos para a realização deste trabalho, agradeço pela paciência, colaboração e amizade.

Por fim, agradeço ao Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem – LEPU-FEMEC/UFU, pelo espaço e equipamentos para a realização do estudo e ao técnico do laboratório Alcione pela paciência e conhecimento passado a nós.

Sou privilegiado por minha vida estar repleta de pessoas maravilhosas. Embora não possa citar todas, espero alcançá-las, expressando meu agradecimento cheio de sinceridade.

Ranieri Henrique da Silva

RESUMO

O objetivo desse estudo é avaliar a qualidade de uma superfície usinada por torneamento de um aço ABNT 1050, e os custos relacionado a este processo. Os ensaios de usinagem foram realizados na condição de jorro com quatro níveis do fator de lubri-refrigeração, sendo usados dois fluidos de corte de base vegetal e um de base mineral, além do ensaio a seco, em quatro condições diferentes de velocidade de corte e de avanço. Com o auxílio de um rugosímetro foi possível medir a rugosidade média (Ra) para todas as condições, e posteriormente foram analisadas as suas influências no processo de usinagem. Conclui-se que o ensaio a seco resulta uma menor rugosidade, já os ensaios com fluidos causam uma maior rugosidade, isso se dá pelo fato do fluido atuar como um refrigerante a peça. E a análise econômica do processo permite-se dizer que a usinagem com fluido de corte, ao longo do tempo, é mais barata, ou seja, a usinagem de várias peças torna mais economicamente viável a usinagem.

Palavras-chaves: Qualidade da superfície usinada; Custos; Rugosidade média (Ra); Vida da ferramenta.

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate a quality of a surface used by the ABNT 1050 steel turning and the costs related to this process. The machining tests were carried out under the condition of sprue with four levels of development of lubrication-cooling, two vegetable-based cutting fluids and A mineral based, in addition to dry testing, under four different conditions of shear rate and feed rate. With the aid of a rugosimeter at a mean roughness (Ra) for all conditions, and as analyzed as their influences on the machining process. It is concluded that the dry test results in a smaller combination, since it is tests with fluids cause a greater roughness, therefore, in case the fluid acts as a coolant the piece. And the economic analysis of the process makes it possible to say that shearing with cutting fluid over time is cheaper, that is, the machining of several parts makes machining economically more feasible.

Keywords: Machined surface quality; Costs; Mean Roughness (Ra); Tool Life.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. RUGOSIDADE MÉDIA R_a . FONTE: NBR ISO 4287 (2002)	23
FIGURA 2 COMPARAÇÕES ENTRE PERFIS DE RUGOSIDADE	24
FIGURA 3 DETALHE DA SUPERFÍCIE DO CILINDRO	26
FIGURA 4 FLUXOGRAMA DAS ETAPAS	29
FIGURA 5 CORPOS DE PROVA - AÇO SAE 1050.....	30
FIGURA 6 FERRAMENTA DE CORTE E SUPORTE FIXADOS NO TORNO	30
FIGURA 7 TORNO UTILIZADO PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.	31
FIGURA 8 MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE APÓS A USINAGEM.....	32
FIGURA 9 COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DAS RUGOSIDADES R_a NAS DIFERENTES CONDIÇÕES DE CORTE.	33
FIGURA 10 GRÁFICOS DOS DESGASTES DAS FERRAMENTAS EM FUNÇÃO DO TEMPO.....	35

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 CUSTOS X PEÇAS USINADAS	39
---	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: ESPECIFICAÇÕES TINTA EPÓXI X RUGOSIDADE	24
TABELA 2 CONDIÇÕES DE USINAGEM	31
TABELA 3 GASTOS COM FLUIDOS DE CORTE.....	35
TABELA 4 TEMPO DE DEGASTE DE APENAS UMA ARESTA	36
TABELA 5 TEMPO DE DEGASTE DAS QUATRO ARESTAS (UMA FERRAMENTA INTEIRA)	36
TABELA 6 DADOS DOS PARÂMETROS	37
TABELA 7 INTERSECÇÃO DAS RETAS	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VC	<i>Velocidades de Corte</i>
MQF	<i>Mínima Quantidade de Fluido</i>
Ra	<i>Rugosidade Média</i>
Rq	<i>Rugosidade Média Quadrática</i>
dB	<i>Decibéis</i>
APC	<i>Aresta Postiça de Corte</i>
ap	<i>Profundidade de Corte</i>
rc	<i>Raio de Ponta</i>
f	<i>Avanço</i>
MEV	<i>Microscópio Eletrônico de Varredura</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	USINAGEM	15
2.2	OPERAÇÕES DE USINAGEM	16
2.3	TORNEAMENTO	16
2.3.1	TIPOS DE TORNO	17
2.3.2	FERRAMENTAS DE TORNEAMENTO	18
2.4	FLUIDOS DE CORTE	19
2.4.1	FLUIDO DE CORTE DE BASE VEGETAL	20
2.4.2	MANUTENÇÃO E PROBLEMAS CAUSADOS PELO FLUIDO DE CORTE	20
2.5	QUALIDADE SUPERFICIAL DA PEÇA USINADA	21
2.6	EXEMPLOS DA IMPORTÂNCIA DA RUGOSIDADE DA PEÇA FABRICADA	24
2.6.1	ADERÊNCIA DE TINTAS EPÓXI X RUGOSIDADE SUPERFICIAL	24
2.6.2	CILINDRO DO MOTOR E SEU ACABAMENTO SUPERFICIAL	25
2.7	LEAN MANUFACTURING X USINAGEM	26
2.8	CUSTOS DE PRODUÇÃO	27
2.8.1	CUSTO DE MÃO DE OBRA	28
2.8.2	CUSTO DA FERRAMENTA	28
2.8.3	CUSTO DA MÁQUINA	28
2.8.4	CUSTO FLUIDO DE CORTE	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	29
4	RESULTADOS	32
4.1	ANÁLISE ECONÔMICA	35
5	CONCLUSÃO E DISCUSSÕES	40

1. INTRODUÇÃO

Em meados do século XVIII, utilizava-se a madeira para construção mecânica, que era trabalhada com ferramentas de aço carbono. Porém, após a Revolução Industrial, com a criação da máquina a vapor, houve a necessidade de trabalhar materiais mais resistentes como o bronze, latão e os aços e ferros fundidos, ocasionando assim, o melhoramento de materiais para ferramentas e de máquinas operatrizes.

Após a década de 1940, os processos de usinagem passaram a ganhar maior importância, por tornar possível a fabricação de peças com mais diversas variedades de geometrias em materiais com usinabilidade mais difícil proporcionando um acabamento de melhor qualidade. Isso proporcionou o desenvolvimento de novas tecnologias no campo das máquinas-ferramentas, como o desenvolvimento de máquinas automáticas, e posteriormente, máquinas comandadas numericamente. E o cenário econômico atual, que tem forçado as indústrias a aprimorar seus processos, serviços e produtos, sem perder o foco na redução de custos, levando em consideração os impactos ambientais que o processo de usinagem pode ocasionar, faz com que as indústrias busquem utilizar soluções não triviais de planejamento e melhoria de qualidade.

Embora não seja perceptível visualmente, as peças, observadas com mais particularidade, apresentam imperfeições. Em geral todas as peças possuem rugosidade superficial, por melhor acabamento superficial que aparentemente tenham. E a análise do acabamento superficial depende de cada projeto, pois quanto mais complexo é o projeto maior é a análise feita. E este acabamento da superfície do material usinado (rugosidade) é titulado como parâmetro de qualidade da usinagem (FILHO, 2011).

Este trabalho tem como objetivos analisar a rugosidade superficial buscando-se, inicialmente, ressaltar alguns dos principais fundamentos relacionados a rugosidade superficial. Em seguida, através de análises práticas realizadas no laboratório, apresentar os resultados realizados em determinada concentração de fluidos e avaliar a importância das características do processo de torneamento de acordo com as rugosidades desejadas em peças industriais, e por fim realizar uma comparação econômica de qual fluido é mais vantajoso para as indústrias considerando-se os impactos ambientais decorrentes da utilização dos fluidos de corte no processo de usinagem.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Usinagem

A usinagem é um procedimento de fabricação em que consiste na remoção de material de uma peça. Segundo Ferraresi (1977), a usinagem é um processo que produz cavaco em sua operação, e por cavaco entende-se por uma certa quantidade de material removida da peça pela ferramenta de corte.

De acordo com Chiaverini (1986), o processo de usinagem tem vários fatores positivos, tais como:

- Possibilidade de obter-se melhores acabamentos superficiais e melhores tolerâncias dimensionais, levando em consideração onde será aplicada e as especificações de fabricação;
- Confere à peça características impossíveis de conseguir por meio de outros processos;
- Produção em série de peças a um menor custo;
- Produção de peça unitária ou poucas peças, em diversas formas, a partir de uma peça de maior dimensão de material metálico;

Como descrito por Ferraresi (1977), no processo de usinagem, parte do material das peças é retirado pela ferramenta de corte. Este material removido chama-se cavaco, que é classificado em:

- Descontínuo: É comumente encontrado na usinagem de metais frágeis, no entanto também ocorre na usinagem de alguns metais frágeis a grandes avanços e baixas velocidades de corte.
- Contínuo: É designado por este nome pelo grande comprimento. Ocorre na usinagem de metais dúcteis, sob pequenos e médios avanços, com velocidades de corte relativamente altas. Sua formação se dá quando o material é reprimido ao chegar na aresta de corte, sem haver o rompimento deste.
- Parcialmente contínuo: Costuma ser um meio termo entre o descontínuo e o contínuo.
- Segmentado: Frequentemente encontrado na usinagem de materiais com baixa condutividade térmica, como por exemplo o titânio e suas ligas.

2.2 Operações de Usinagem

Na usinagem há várias operações de usinagem, entre elas, as mais comuns são:

- *Torneamento*: processo que a peça é presa em um mandril e esta por sua vez exerce um movimento rotacional e ao mesmo tempo a ferramenta de corte se desloca seguindo trajetórias anteriormente definidas.
- *Fresamento*: processo de usinagem que consiste em deixar a peça fixa e a ferramenta é quem faz o movimento para retirada de cavaco.
- *Furação*: produz furos cilíndricos, obtidos através do movimento de giro e avanço vertical da ferramenta.
- *Retificação*: é o processo em que se retira material da peça produzindo-se em contato entre a peça e uma ferramenta abrasiva, chamada rebolo, e que consiste no movimento giratório (da ferramenta) em alta velocidade em torno do seu próprio eixo, podendo também executar movimento de translação.

Existem também outras operações de usinagem como, brochamento, mandrilamento, lapidação, afiação, espelhamento, brunimento, polimento, serramento, usinagem eletroquímica, usinagem por eletroerosão, entre outras.

2.3 Torneamento

A operação de torneamento consiste em fixar o material a ser cortado ao mandril de um torno e rotacioná-lo, enquanto a ferramenta, fixada em um porta-ferramenta, realiza o movimento ao mesmo tempo, seguindo trajetórias anteriormente definidas.

Há vários tipos de torno, porém, o tipo de torno mais utilizado é o chamado torno universal. O torno mecânico é constituído de uma base rígida e maciça, podendo assim resistir a deformações e apresentar capacidade de diminuir as vibrações resultantes do processo de usinagem. A peça a ser usinada é presa em uma placa de castanhas, suportada pela árvore principal, que faz parte do cabeçote fixo. A árvore principal é composta de um movimento de rotação que é transferido para a peça, para assim a mesma submeter-se a ação da ferramenta ou das ferramentas de corte. A árvore tem a possibilidade de girar em diferentes velocidades, pois a velocidade vai depender do diâmetro da peça, do tipo de acabamento desejado e do tipo de operação a ser realizada, como por exemplo, operação de desbaste, acabamento, entre outros. A caixa de engrenagens é que permite a mudança de velocidade da árvore (CHIAVERINI, 1986).

Na parte central do torno está situado o porta-ferramentas. Esse conjunto possibilita movimentos longitudinal e transversal, para assim permitir que a ferramenta se desloque segundo uma determinada trajetória. O avanço da ferramenta, pode ser realizado tanto automaticamente quanto manualmente. O cabeçote móvel, contraponto, está situado na outra extremidade do torno, e sua finalidade é suportar as peças que giram.

Há três processo típicos de torneamento que não ocorrem em outros processos de usinagem:

- O corte é normalmente contínuo;
- O corte pode ser caracterizado em coordenadas cilíndricas;
- Ocorre, ao mesmo tempo, movimentos da peça e ferramenta;

2.3.1 Tipos de torno

Além do torno mecânico, há outros tipos de tornos que foram desenvolvidos a partir dele, mais complexos, de modo a permitir operação automática, com uma maior velocidade de trabalho e maior precisão (GROOVER, 2014).

Alguns tornos podem ser citados:

- Tornos automáticos e semi-automáticos: Permitem que a ferramenta corte uma peça repetidamente, não sendo necessário mais que um ajuste inicial , além de permitir velocidades de corte muito mais altas, configurando maior produtividade na indústria.
- Tornos-revolver: Possuem os componentes básicos do torno tradicional, um carro, com movimento longitudinal que leva uma torre giratória, que é um porta-ferramentas, com várias posições e uma nova ferramenta é apresentada para cada posição que a torre gira.
- Tornos copiadores: Impõe um perfil pré-determinado na peça a ser usinada, através da utilização de uma peça protótipo, através do auxílio do movimento automático de uma ferramenta.
- Tornos verticais: São utilizados na usinagem de peças de grande porte, como por exemplo, polias e rodas dentadas. Devido as suas grandes dimensões, essas peças não podem ser montadas numa placa em posição vertical, por isso para a montagem dessas peças se utiliza uma plataforma redonda horizontal e girante.
- Tornos-ferramenteiros: São tornos especiais, pois possuem maior precisão, com uma quantidade maior de avanços e velocidades periféricas, contendo maior quantidade de acessórios que os outros tornos. Normalmente são empregados na confecção de ferramentas e matrizes ou dispositivos especiais.

Atualmente, são comuns tornos equipados de controle numérico, ou seja, todos os movimentos realizados pela ferramenta, durante a usinagem, são programados previamente, usando-se ou não sistemas de CAM (Computer Aided Manufacturing).

2.3.2 Ferramentas de torneamento

As ferramentas de torneamento geralmente apresentam apenas uma aresta de corte, conformadas normalmente, de aço com alto teor de carbono ou aços especiais com elementos de liga em elevados teores, como por exemplo, os aços rápidos. Outro exemplo, são as ferramentas de Metal Duro, que é uma liga de W e C, fabricadas através da metalurgia do pó, que possuem notáveis propriedades de dureza e resistência ao desgaste; no presente trabalho, foram utilizados insertos desse material. Há também outros materiais como por exemplo os Aços-Carbono e Aços Ligados, utilizados para usinagem a baixas velocidades de corte. Os Cermets são outras ferramentas com características bem relevantes e são consideradas intermediárias entre os metais duros e as cerâmicas. As ferramentas cerâmicas possuem alta dureza a quente e resistência à oxidação e baixa afinidade química com o material da peça. Por fim, há as ferramentas de diamante (PVD – diamante poli cristalino), um material ultraduro, que, devido a sua alta dureza, pode ser aplicado à usinagem de praticamente todos os materiais de uso comum em engenharia, embora não seja economicamente viável para a usinagem de certos materiais menos nobres (MACHADO et. al, 2015).

A ferramenta de corte sempre sofrerá processo de destruição, independente do quanto seja a resistência e a dureza do material em que foi conformada o que mais tardar a sua substituição deverá ser feita.

Segundo Machado et.al. (2015) há três tipos de destruição da ferramenta de corte na usinagem: deformação plástica, avaria e desgaste. Estes três processos consistem na mudança na geometria da ferramenta de corte. Avaria e desgaste proporcionam a perda de massa, enquanto a deformação plástica provoca o deslocamento de massa na ferramenta de corte. A avaria causa lascas, trincas e até mesmo a quebra da ferramenta de corte, que ocorre de maneira inesperada e repentina. O Desgaste da ferramenta é resultante da perda gradual de material por algum processo ou mecanismo e ocorre tanto nos processos contínuos como nos intermitentes. Já a Deformação Plástica consiste no deslocamento de massa, ocasionando a mudança da geometria da ferramenta de corte, devido ao carregamento excessivo, podendo ocorrer tanto no corte contínuo, como no intermitente. Com isto, estes processos de destruição da ferramenta

influenciam diretamente na qualidade superficial da peça fabricada. O desgaste da ferramenta de corte pode ser calculado a partir de um critério de vida (VB_{Bmax}), tal fator é regulamentado pela norma ISO 3685 (1993), que determina que o $VB_{Bmax} \geq 0,6$ mm significa o desgaste total da ferramenta.

2.4 Fluidos de corte

Os fluidos de corte têm como principal função ajuda a refrigerar a região de corte, especialmente em velocidades de corte altas e em baixas e altas, velocidades e tensões de corte, respectivamente, tem como objetivos: lubrificar esta região, melhorar a vida da ferramenta, reduzir a força de corte, melhorar o acabamento superficial, auxiliar na quebra e no transporte de cavaco; preservara maquina-ferramenta contra oxidação e também a superfície usinada (TRENT e WRIGHT, 2000).

Segundo Machado et. al. (2015), as principais funções de um fluido de corte são as de refrigeração e lubrificação da região de corte. Outras funções são: transportar os cavacos para fora da região de corte, proteção da peça, da máquina-ferramenta e da ferramenta contra a oxidação. Existem inúmeras as vantagens da aplicação do fluido de corte, e a sua aplicação vem crescendo consideravelmente, o que consiste em um fator de competitividade entre as empresas, já que causa aumento da qualidade do produto. As agências de Proteção Ambiental e Agências de Saúde influem consideravelmente nas indústrias de comercialização de fluidos para que estes sejam fabricados com mais responsabilidade e respeito ao meio ambiente. (HEISEL et al., 1998; KALHOFER, 1997).

Diniz, em 2005, numa entrevista ao jornal da Unicamp, elucida os efeitos negativos que a maioria dos fluidos causam: problemas de saúde ou alergias ao operador da máquina que pode ser ocasionado pela inalação do seus vapores e pelo contato com a pele; surgimento de fungos e bactérias, o que faz necessário um tratamento frequente e mesmo assim periodicamente a reciclagem, uma vez que não pode ser descartado no solo. Empresas de grande porte possui sistemas de reciclagem, no entanto, para outras empresas, o descarte do fluido de corte precisa ser feito entregando-os a empresas certificadas pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligada à Secretaria do Meio Ambiente do governo de São Paulo, o que gera custos. Em síntese, um método de gestão de fluido de corte permite alcançar um desempenho ótimo do fluido e menores custos operacionais, aliados à menor contaminação ambiental (SOUZA, GOMES e SOUZA, 2008).

2.4.1 Fluido de corte de base vegetal

Matérias primas para a fabricação de lubrificantes vindo da natureza são muitos maiores do que as de origem da indústria petroquímica. Esta diversidade de matérias-primas, junto com os recentes métodos e processos de refino, faz com que haja a eliminação dos problemas causados por óleos vegetais de antiga tecnologia, como por exemplo a resinificação, a viscosidade aumentada e o desenvolvimento de acidez. Pode-se citar algumas vantagens dos óleos integrais vegetais entre elas:

- Óleos vegetais são mais adaptáveis com a pele humana do que os óleos minerais, uma vez que possuem uma formação reduzida de fumaça, névoa e vapor, e também um risco menor de incêndio nas máquinas.
- Possuem em sua estrutura moléculas polares que tem como objetivo suportar grandes tensões superficiais através da formação de um filme lubrificante, isso facilita a usinagem e também melhora a vida das ferramentas. Já os óleos minerais por ser apolares, a sua capacidade lubrificante é menor. Isso favorece uma maior produtividade.
- Ambos não podem ser queimados, apesar de que os óleos vegetais ao ser queimado polui menos o ambiente, além de sua matéria-prima ser reutilizável (KURODA, 2006).

2.4.2 Manutenção e problemas causados pelo fluido de corte

Assim como as máquinas, equipamentos elétricos e instalações industriais, os fluidos de corte também precisam de cuidados com a manutenção. Devem ser limpos os sistemas de refrigeração quando renovada a carga de fluido de corte. A remoção da camada sobrenadante, que se forma nos óleos que estão estocados (na máquina), é muito importante, pois impede a proliferação de bactérias anaeróbias, que são responsáveis pelo odor característico de emulsões contaminadas. A retirada dos cavacos também é importante, pois impede a formação de pontos de parada no reservatório, o que contribuiria para a proliferação de micro-organismos. Deve-se ainda evitar a mistura de fluidos de procedências diferentes, pois pode haver incompatibilidade entre eles (BIANCHI, 2003).

Dois dos problemas mais comuns associados aos fluidos de corte são as dermatites e acnes, que acontecem quando há contato entre a pele e o fluido. Essas são as chamadas dermatites de contato. Outras formas de dermatites, as alérgicas, podem ocorrer mesmo quando não há contato com o fluido (IOWA, 2003).

Para conter a degradação do fluido e garantir um aumento de sua vida útil, são acrescentados aditivos na preparação da emulsão, como biocidas, anti-espumantes e anti-corrosivos. Essas substâncias causam uma perda na quantidade de óleo e deixa uma falsa sensação de segurança, já que alguns pesquisadores constataram o proliferação de microrganismos mesmo após o uso de biocidas.

Outro fator relevante é do controle da utilização de fluidos de corte, é o sensível crescimento de seus custos operacionais. A preocupação com o meio ambiente e a saúde humana fazem com que aumente as responsabilidades das empresas e investimentos em controle e manutenção destes produtos em uso e o tratamento correto de seus resíduos, sobretudo os mais perigosos, se fazem necessário. Estes custos podem ser relativamente alto caso ocorra o aumento do volume de descarte de resíduos (IGNÁCIO, 1998).

Em muitas instalações de produção, os fluidos de corte têm uma significativa influência nos custos de manufatura. Há uma preocupação muito grande por parte das indústrias sobre os custos dos fluidos de corte, uma vez que os gastos com a produção, direcionados aos fluidos, tornam-se cada vez maiores em relação ao custo relativo à ferramenta de corte. A indústria automobilística, por exemplo, investe de 8 a 10% de seus gastos com produção em fluidos de corte, e uma empresa desse setor de nível médio, cerca de 30% em relação ao destinado a ferramentas (IGNÁCIO, 1998).

2.5 Qualidade Superficial da Peça Usinada

A qualidade da superfície é definida como conjunto das características mecânicas topográficas, metalúrgicas e químicas de uma superfície manufatura e suas relações como desempenho funcional. O processo de usinagem pode ocasionar modificações na microestrutura da superfície do material usinado, devido à combinação dos esforços mecânicos da elevada temperatura gerados na região do corte do material. Devido aos fatores que influenciam a qualidade da superfície, esforços mecânicos e temperatura, algumas alterações são encontradas na sub-superfície do material.

Segundo Chiaverini (1986), a definição de integridade da superfície usinada é o conjunto das características que envolvem ruptura, tensões residuais, recuperação plástica, geração de calor, deformações plásticas, vibração, e, às vezes reações químicas. Modificações na microestrutura da superfície do material usinado podem ser ocasionado pelo processo de usinagem, devido à combinação da elevada temperatura e os esforços gerados na região do corte do material.

Sendo assim, a rugosidade de uma superfície depende de vários parâmetros, como a máquina-ferramenta, propriedades da peça ou do material, geometria e material da ferramenta, e bem como a operação de usinagem. Uma rugosidade baixa é essencial na superfície de mancais, superfícies que servirão de escoamento de fluídos e gases, superfícies com visual que exige brilho e que devem refletir raios e também materiais que não exigem atrito.

Fatores como a temperatura e os esforços mecânicos influenciam a integridade da superfície e algumas alterações são encontradas na sub-superfície do material. Portanto a integridade superficial não envolve apenas a textura da superfície ou a sua forma geométrica, mas também, outras características da superfície em serviço e de camadas abaixo desta (MACHADO et. al, 2015).

As altas temperaturas provocam alterações na micro estrutura pela indução de uma zona afetada termicamente pelo calor, levando ao surgimento de tensões residuais de tração e consequentemente de trincas. Já os esforços mecânicos geram deformação da sub-superfície do material ocasionando deformações plásticas que também originam tensões residuais (JUNELA & SWKHON, 1987; SCHAFFER, 1998).

O acabamento de uma superfície é a combinação de vários fatores: rugosidade, ondulações e falhas. Ondulações são erros geométricos ou basicamente irregularidades superficiais cujos espaçamentos são maiores que as rugosidades. São causadas por vibrações e flexões da ferramenta ou da peça, devido à força de usinagem, temperatura de corte ou a erros de fixação da peça ou da ferramenta.

Falhas são interrupções na topografia da superfície; são não intencionais, inesperadas e indesejáveis. A rugosidade é composta de irregularidades finas ou erros micro geométricos ocasionado pelo processo de corte, como marcas de avanço, aresta postiça de corte, desgaste da ferramenta, entre outros (MACHADO et al., 2015), e pode ser usada como parâmetro de saída para controlar um processo de usinagem.

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 4287 (2002), há diversos parâmetros empregados para a quantificação da rugosidade, entre eles R_a e R_q . A rugosidade média R_a é o parâmetro mais difundido na indústria, por ser aplicado à maioria dos processos de fabricação. É determinado pela média das distâncias entre os pontos da superfície e a linha de centro, ao longo do comprimento de uma medida, como mostrado na Figura 1. Sua definição pela norma é a “média aritmética dos valores absolutos (y_i), em relação à linha média, em um determinado percurso de medição (l_m)”, como mostrado na equação 1 (SILVA NETO, 2012).

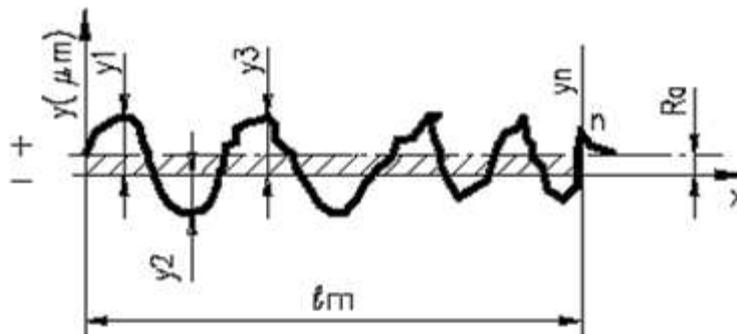


Figura 1. Rugosidade média R_a . Fonte: NBR ISO 4287 (2002)

$$R_a = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} [\mu m] \quad \text{Equação 1}$$

A rugosidade média quadrática é um parâmetro calculado segundo a equação 2. Este parâmetro representa melhor a natureza de uma superfície.

$$R_q = \sqrt{\frac{y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2}{n}} \quad \text{Equação 2}$$

As condições de corte têm grande influência sobre a rugosidade, sendo o avanço (f) o parâmetro mais influente. Ou seja, a altura dos picos e a profundidade dos vales das marcas de avanço tendem a aumentar em proporção quadrática ao avanço. Sob baixas velocidades de corte ocorre a formação da APC (aresta postiça de corte), e o aumento no avanço nessas condições resulta em um acabamento muito pior. O aumento da profundidade de corte (a_p) aumenta os valores das forças, e, portanto, a possibilidade de flexões, o que faz com que as alturas das ondulações também aumente. A geometria da ferramenta, principalmente o raio de ponta (r_c), que deve ser pelo menos o dobro do valor do avanço para diminuir o efeito das marcas de avanço, o que proporciona uma melhoria na rugosidade.

A utilização de fluido de corte tem como objetivo reduzir o desgaste da ferramenta e o atrito entre a peça ou o cavaco e a ferramenta, contribuindo também para uma melhoria do acabamento superficial. Porém, fluidos com capacidades mais refrigerantes que lubrificantes podem aumentar a resistência ao cisalhamento do material da peça, e, conseqüentemente, as forças de usinagem, o que prejudica o acabamento da peça usinada. A aplicação de um revestimento sobre a ferramenta de corte pode atuar como lubrificante, e também ajuda a diminuir a afinidade química entre a ferramenta e o material da peça, contribuindo para a melhoria do acabamento.

2.6 Exemplos da Importância da Rugosidade da Peça Fabricada

2.6.1 Aderência de tintas epóxi x rugosidade superficial

A aderência da tinta no aço é um importante fator na pintura, pois de acordo com essa aderência podemos obter uma pintura com menor quantidade de camadas de tinta e em excelente qualidade. Porém a aderência não é um fator influenciado somente pelas propriedades da tinta, mas também pelo acabamento superficial do aço a ser pintado. A rugosidade afeta a aderência da tinta, pois uma rugosidade muito pequena, ou seja, um acabamento superficial muito perfeito, pode gerar uma dificuldade da tinta se aderir ao aço, o que pode gerar bolhas de tinta, descascamento e corrosões, e uma rugosidade muito alta pode acarretar na presença de picos, que em tais pontos, podem surgir corrosões se tornando um ponto vulnerável. Portanto é necessário uma rugosidade ideal para a pintura do aço como mostra a figura a seguir.

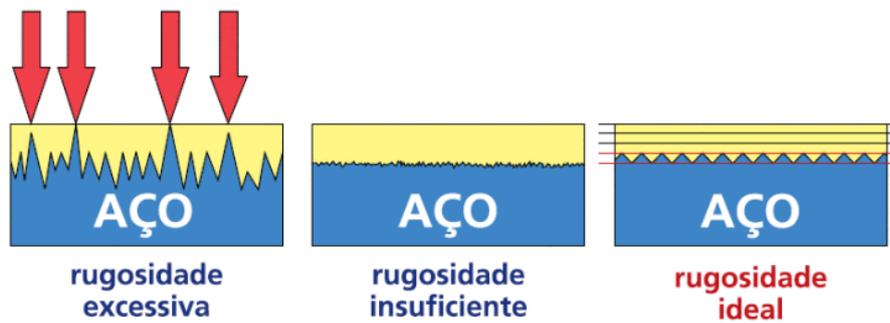


Figura 2 Comparações entre perfis de rugosidade

Para definir a melhor rugosidade para a pintura do aço, usa-se uma norma ABNT NBR 7348:07, versão corrigida em 2010, que informa que o valor médio da rugosidade deve estar numa faixa de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ da espessura total da tinta. Por exemplo, caso a espessura desejada de tinta seja $240\mu\text{m}$ (com 2 camadas de $120\mu\text{m}$), então a rugosidade deverá estar entre $60\mu\text{m}$ ($240\mu\text{m}$ vezes $\frac{1}{4}$) a $80\mu\text{m}$ ($240\mu\text{m}$ vezes $\frac{1}{3}$).

A tabela a seguir mostra a ficha técnica das tintas epóxi com as informações da rugosidade pela espessura.

Tabela 1: Especificações tinta epóxi x rugosidade

Tinta	Espessura média (μm)	Faixa de rugosidade (μm)	Proporção aproximada
Epóxi 100% sólidos	175	25 a 50	1/7 a 1/3,5
Epóxi <i>surfacerolant</i>	185	25 a 50	1/7,4 a 1/3,7
Epóxi <i>novolac</i>	325	50 a 100	1/6,5 a 1/3,3
Epóxi secagem rápida	500	50 a 75	1/10 a 1/6,7

Epóxi <i>novolac</i> + floco de vidro	875	75 a 125	1/11,7 a 1/7
IMO PSPC MSC.215 (epóxi)	300	30 a 75	1/10 a 1/4

Pode-se observar que a ficha técnica das tintas não respeita a norma ABNT NBR 7348:07, versão corrigida em 2010, o que acontece pelo fato dessa norma ser muito discutida entre os profissionais da área da pintura anticorrosiva ainda. Portanto considera-se as informações da ficha técnica das tintas para o estudo da rugosidade do aço, para que seja possível chegar a uma comparação mais prática do comportamento da tinta (GNECCO e FRAGATA, 2014).

2.6.2 Cilindro do motor e seu acabamento superficial

O cilindro de motor é utilizado para a realização da combustão do motor, nele temos o pistão que tem o papel de se movimentar dentro do cilindro, causando a combustão. Como esse processo trabalha com uma grande quantidade de energia, deve-se então ser muito cauteloso no processo de fabricação, pois um atrito maior do que deveria, pode acarretar no engripamento do pistão, o que pode ocasionar a explosão do motor. O acabamento superficial deve ser perfeito, ou seja, com pequena rugosidade, na ordem de $0,33\mu\text{m}$. Porém o cilindro deve reter um pequeno fio de óleo, entre ele e o pistão, e para que ele possa reter, ele é submetido a um processo de brunimento, que é a realização de ranhuras cruzadas em sua superfície. Os processos de fabricação do cilindro pode ser realizado através do torneamento interno, que seria a retirada de cavaco na parte interna do cilindro, como na figura abaixo.



Figura 3 Detalhe da superfície do cilindro

2.7 Lean Manufacturing x Usinagem

Lean manufacturing ou também conhecida como Sistema Toyota de Produção tem como conceito eliminar tudo aquilo que não agrega valor em uma produção. E esta filosofia tem grande importância nas indústrias com o objetivo de determinar as principais causas e soluções das perdas de produtividade no processo. Segundo BRAGA (2000), a forma principal de avaliar o comportamento do processo produtivo é através de uma análise da relação entre os recursos necessários e o volume produzido.

Harmon e Peterson (1997) e Plute (1998), afirma que a perda de produtividade em usinagem está relacionado com a preparação de máquinas (setup) e a falta de um gerenciamento de ferramentas adequado. Ainda estes três autores colocam que existem três tipos de operações de setup: mainline, offline e desnecessário. Operações de setup offline ou fora de linha são aquelas operações que poderiam ser efetuadas antes de se parar a máquina. Já as operações de setup mainline ou em linha principal são realizadas enquanto a máquina está parada entre a produção do item anterior e a do próximo. Um setup rápido segundo Nishida (2005) é muito importante em um processo de produção, pois possibilita o trabalho em pequenos lotes, aumento da flexibilidade e consequentemente atender prontamente a demanda dos clientes seguindo assim o conceito filosofia Lean Manufacturing. Outro fator importante no quesito setup é o gerenciamento de ferramenta, pois na medida em que esta é efetivada, haverá uma redução no tempo de máquina parada, custos relativos a inventário e aumenta a confiança da produção na área de ferramentas. Levando em consideração ao gerenciamento de ferramentas,

Boogert (1994), indica que é preciso levar em consideração três aspectos: Planejamento Técnico, Planejamento Estratégico e Planejamento Logístico. Planejamento Técnico – tem como objetivo selecionar as ferramentas de corte que possibilitam um processo mais econômico e que atendam as necessidades para a qualidade do produto; Planejamento Estratégico – são tomadas de as decisões que possibilitam a expansão ou redução da capacidade dos recursos, a fim de definir a ferramenta correta para cada máquina; Planejamento Logístico - tem como princípio a distribuição da ferramenta no local correto e no prazo determinado além de gerenciar recursos existentes. Outra filosofia de negócios baseada no Sistema Toyota de Produção Lean Thinking (Mentalidade Enxuta) que tem como objetivo denominar uma Produção que lida com as atividades básicas envolvidas no processo e identifica o que é o desperdício e o que é o valor a partir da ótica dos clientes e usuários. Os efeitos produzidos implicam em um aumento da capacidade de oferecer os produtos que os clientes querem, na hora que eles querem, nos preços que eles estão dispostos a pagar, com custos menores, qualidade superior, "lead times" curtos, garantindo assim um processo mais lucrativo. O Lean Thinking vem sendo aplicado, com grandes resultados na eliminação de desperdícios, nos mais diferentes ambientes das organizações.

2.8 Custos de Produção

Os custos de produção envolvem tudo que está relacionado ao processo de usinagem, como custos de ferramenta, custo de ocupação das máquinas, custo dos operadores, custos de fluidos, e ainda aqueles que não estão envolvidos diretamente com o processo, como custos de controle de qualidade, de matéria prima, e de mão de obra indireta. Assim, o custo de produção é dado por:

$$K_p = K_{us} + K_{ft} + K_{um} + K_f$$

K_p = Custo de Produção

K_{us} = Custo da Mão de Obra

K_{ft} = Custos da ferramentas

K_{um} = Custos da máquina (depreciação, energia consumida e etc.)

K_f = Custo fluido de corte

2.8.1 Custo de Mão de Obra

O custo da mão de obra se dá pela equação abaixo:

$$K_{us} = T_t \cdot \frac{Sh}{60}$$

Onde:

T_t = tempo total de confecção por peça, em minutos;

Sh = salário e encargos do operador, em R\$/hora.

2.8.2 Custo da Ferramenta

O custo da ferramenta de corte por vida K_{ft} é dado por:

$$K_{ft} = \frac{V_{si}}{N_{fp}} + \frac{K_{pi}}{N_s}$$

Onde:

N_{fp} = vida média do porta-ferramenta, em relação a quantidade de arestas;

V_{si} = custo de aquisição do porta-ferramentas;

N_s = Número de arestas de corte da pastilha;

K_{pi} = Custo de aquisição da pastilha.

O custo da ferramenta por peça K_{uf} é dado pela equação:

$$K_{uf} = \frac{K_{ft}}{Z_t}$$

Onde:

Z_t = número de peças usinadas por vida T da ferramenta

2.8.3 Custo da Máquina

O custo da máquina é dado pela equação a seguir:

$$Kum = \frac{Tt}{60} \cdot Sm$$

Onde:

Sm = custo total da máquina em R\$/hora;

2.8.4 Custo Fluido de Corte

Os custos com fluido de corte se dão por uma relação entre o custo total de cada fluido e a porcentagem utilizada para cada peça usinada, tal que pode-se utilizar o fluido de corte a cada dois meses sem necessidade de troca, portanto o preço do fluido de corte se dá pelo valor em litros na concentração dividido pelo número de peça que são usinadas durante dois meses.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Segue o fluxograma do trabalho:

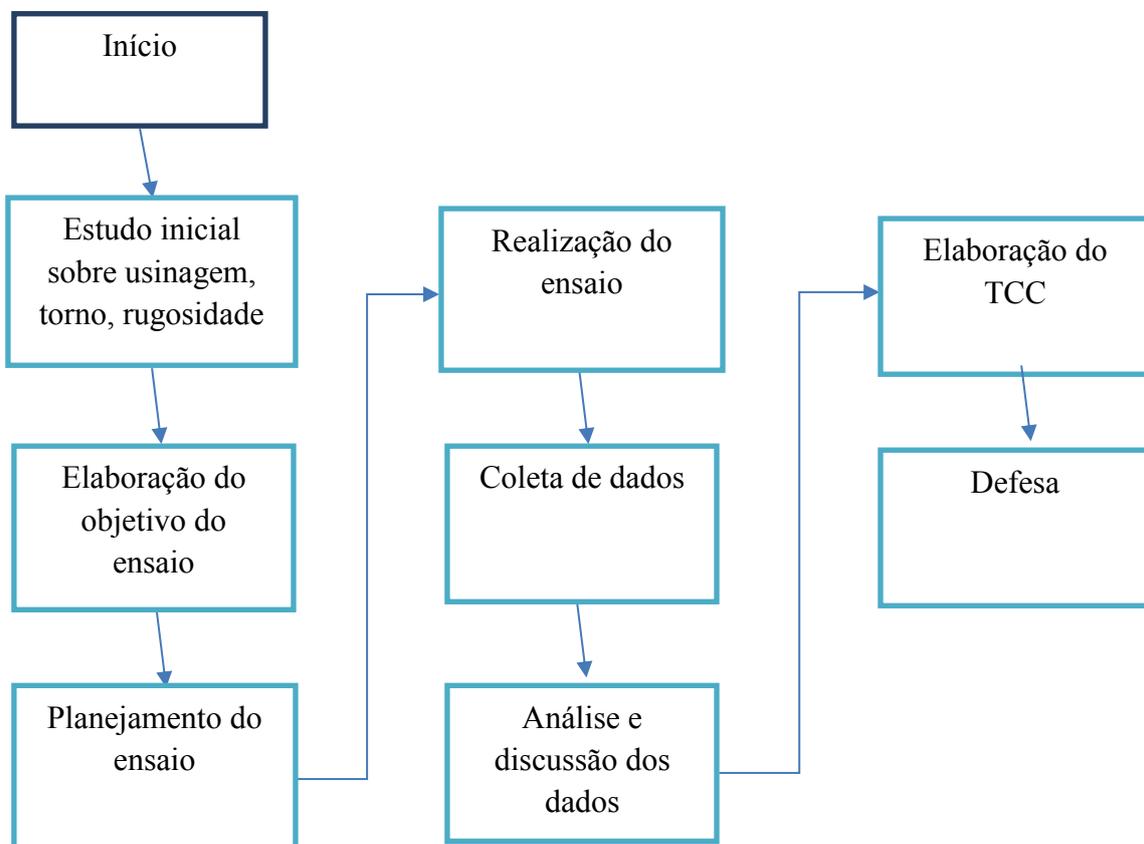


Figura 4 Fluxograma das etapas

Os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem – LEPU / UFU. O processo consistiu em ensaios de torneamento, em corpos de prova cilíndricos de Aço SAE 1050, com um diâmetro de 54 mm e 500 mm de comprimento, conforme mostrado na figura abaixo.



Figura 5 Corpos de prova - Aço SAE 1050

Para se realizar os ensaios foram utilizadas a ferramenta de metal duro SNMG120408 DM série T9025 e um suporte para ferramenta PSBNR 2525 M12 conforme mostrado na figura 6.



Figura 6 Ferramenta de corte e suporte fixados no torno

Os ensaios de torneamento foram executados com três fluidos de corte na condição de jorro, sendo dois de base vegetal e um de base mineral, além do ensaio a seco, a título de comparação. Para manter suas propriedades mecânicas originais inalteradas, os corpos de prova não foram submetidos a nenhuma espécie de tratamento térmico, sendo usinados em estado bruto de laminação. Inicialmente, realizou-se a limpeza da peça no torno, ou seja, a retirada da carepa, para depois realizar o torneamento.

Os ensaios foram realizados em quatro condições diferentes de velocidade de corte e de avanço, e cada condição foi testada com três fluidos de corte diferentes na concentração de 7%, sendo um total de 60 litros desses fluidos dissolvidos em água cada: Syntilo 916 (fluido de corte sintético de base vegetal), ClearEdge 6515BF (fluido de corte semissintético de base mineral), e Carecut S 142 BF (fluido de corte emulsionável de base vegetal), e mais a condição a seco. Os fluidos de corte utilizados foram produzidos pela empresa Castrol Industrial, e foram comprados em baldes de 20 litros. Ao final do experimento os fluidos foram separados para o devido descarte.

As velocidades de corte (V_c) utilizadas foram de 200m/mim e 350m/mim, e o avanço (f) de 0,20mm/rot e 0,32mm/rot, utilizando as combinações entre esses quatro dados tem-se quatro condições diferentes:

Tabela 2 Condições de usinagem

Condições	V_c[m/min]	f[mm/rot]
1	200	0,2
2	200	0,32
3	350	0,2
4	350	0,32

O torno utilizado para a realização destes ensaios foi o Torno Multiplic 35 D, fabricado pela Romi Ltda., como mostra a figura.



Figura 7 Torno utilizado para a realização dos ensaios.

Após a usinagem do corpo de prova foram realizadas as medições dos parâmetros de rugosidade: a Rugosidade média (R_a) e a Rugosidade média quadrática (R_q) foram obtidas através do auxílio de um Rugosímetro SurfTest SJ 201 fabricado pela Mitutoyo, com resolução de $0,01\mu\text{m}$, mostrado na figura, em disposições no corpo de prova, escolhidas criteriosamente e pré-determinadas no planejamento. A rugosidade foi medida em três pontos, no início, no meio e no final da peça usinada, e em cada uma das regiões foram realizadas três medições de rugosidade, distantes de 120° , e a média das rugosidades foi utilizada para os estudos e realização do gráfico, utilizando somente o parâmetro R_a . A análise desses resultados foram analisados e discutidos conforme será apresentado mais adiante.



Figura 8 Medição da rugosidade após a usinagem

O desgaste da ferramenta foi medido ao final do ensaio de cada condição e em intervalos regulares para que fosse possível acompanhar o desgaste da ferramenta gradativamente. Usando um microscópio óptico Olympus, modelo Evolution LC Color SZ6145TR com câmera digital e o software de análise de imagens image-Pro Express 5.1, que possuía um aumento de 45X, foi possível colher os dados necessários para avaliar o tempo que a ferramenta de corte conseguiria usinar, utilizando o critério de fim de vida da ferramenta $VB_{B_{\max}} \geq 0,6\text{mm}$, de acordo com a norma ISO Standard 3685, e também acompanhar a evolução do desgaste das ferramentas.

4 RESULTADOS

Os dados obtidos foram comparados através de um gráfico do parâmetro R_a e as condições de corte, sendo cada barra correspondendo a uma condição de corte, e cada grupo de quatro barras um tipo de fluido de corte, e as últimas quatro barras o ensaio a seco. Carecut corresponde ao fluido A, ClearEdge ao fluido B, e Syntilo ao fluido C. Os valores referem-se a rugosidade medida após a primeira passada da ferramenta, quando o desgaste ainda não era significativo (ferramentas novas em cada ensaio), não influenciando o valor da rugosidade.

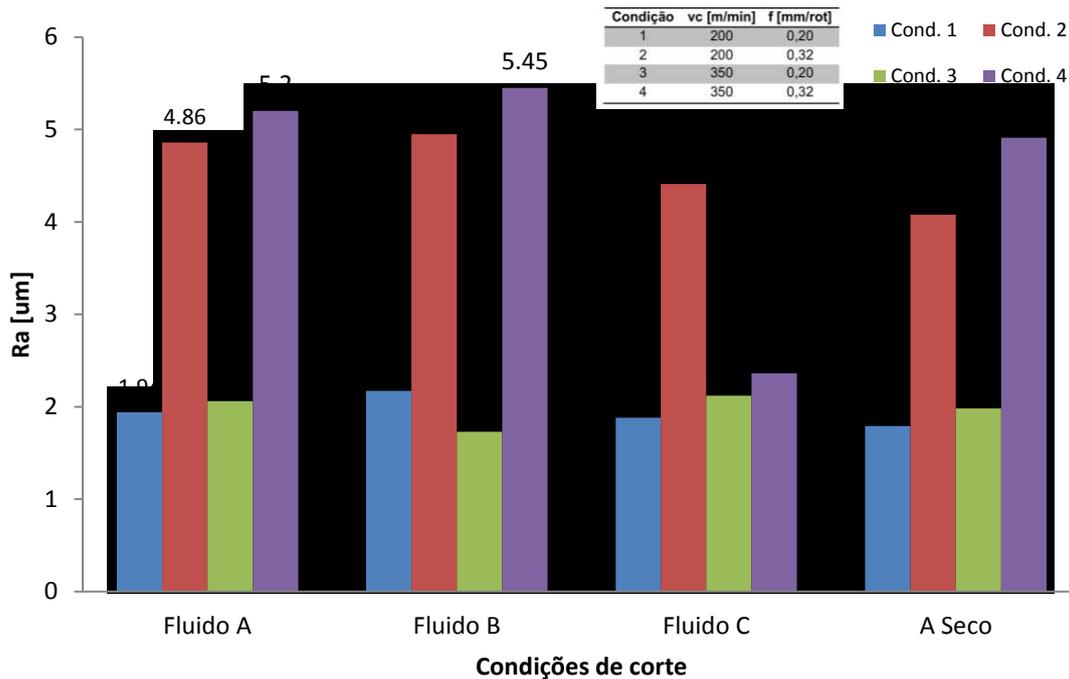


Figura 9 Comparação das médias das rugosidades R_a nas diferentes condições de corte.

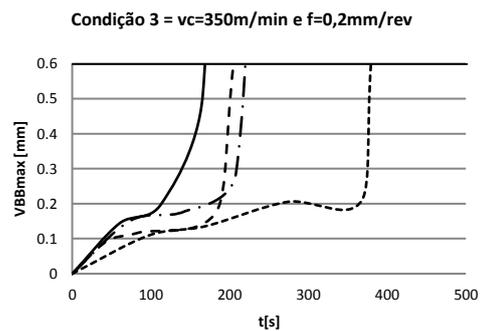
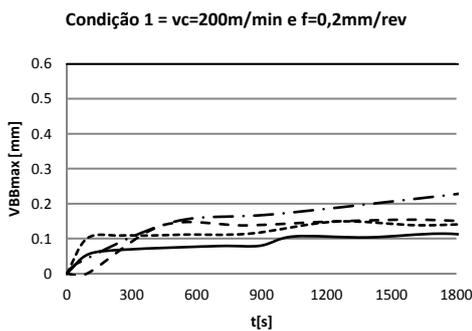
A partir da análise do gráfico da figura 9, é possível constatar que as rugosidades R_a são maiores nas condições de corte que usam maiores valores de avanço ($f = 0,32 \text{ mm/rot}$), que são as condições 2 e 4, pois a rugosidade é altamente influenciada pelo avanço da ferramenta (MACHADO et al., 2015). Com a elevação da velocidade de corte de 200 m/min para 350 m/min alterou a rugosidade de maneira diferente, dependendo da condição lubri-refrigerante e do avanço utilizados. As rugosidades médias R_a , na primeira condição de corte, foram ligeiramente menores do que as observadas nas outras condições de corte.

O menor valor de R_a medido após a primeira condição de corte foi encontrado na usinagem a seco e o maior encontrado na usinagem com o fluido de corte B (semissintético de base mineral – Clearedge) e foi 14% maior. Este mesmo comportamento se repetiu quando a usinagem foi feita na segunda condição de corte ($v_c = 200 \text{ m/min}$ e $f = 0,32 \text{ mm/rot}$), e a diferença entre R_a da usinagem feita a seco e da usinagem com fluido de corte B foi 18%. Na

condição 3 ($v_c = 350 \text{ m/min}$ e $f = 0,2 \text{ mm/rev}$) o menor valor do parâmetro de rugosidade R_a foi obtido com aplicação do fluido de corte B (Clearedge) e a diferença entre esse valor e o maior valor de R_a , encontrado na usinagem com o fluido de corte C (sintético de base vegetal - Syntilo), foi de 18%. Na quarta condição ($v_c = 350 \text{ m/min}$ e $f = 0,32 \text{ mm/rev}$) o menor R_a foi apresentado quando utilizando o fluido de corte C (Syntilo), e a diferença entre esse valor e o maior valor encontrado (na usinagem com fluido de corte B), foi de 57%, a maior diferença entre valores encontrados neste estudo.

Comparando-se somente os ensaios feitos com os fluidos de corte, os valores de R_a foram menores quando o fluido C foi utilizado, exceto na condição 3, onde o fluido de corte B (Clearedge) foi melhor que o C (Syntilo). O fluido de corte, quando na sua função de lubrificante, atua reduzindo o atrito entre a ferramenta e a peça ou o cavaco e o desgaste da ferramenta; entretanto, quando atuando na sua função de refrigerante, faz com que a resistência ao cisalhamento do material aumente o que aumenta a força de usinagem, e, conseqüentemente, prejudica o acabamento superficial da peça (MACHADO et. al, 2015).

Utilizando os dados de desgaste da ferramenta de corte com o tempo de usinagem, nas quatro condições de corte do trabalho, os gráficos a seguir mostram o tempo de vida das ferramentas, sendo que para as condições de corte onde a velocidade era mais baixa (200m/min), compara-se o desgaste de cada ferramenta após 30 minutos de usinagem (1800 segundos).



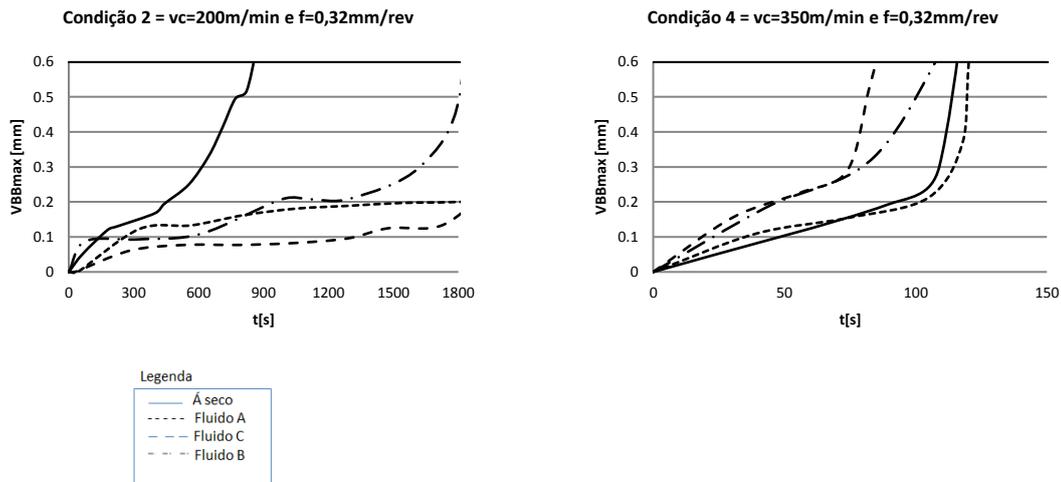


Figura 10 Gráficos dos desgastes das ferramentas em função do tempo

Na condição 1 observa-se que a usinagem realizada com o fluido C (Syntilo) obteve maior desgaste, mesmo a diferença dos valores dos desgastes não sendo tão grande. Na condição 2 observa-se que a usinagem a seco teve um salto no desgaste da ferramenta, isso se dá justamente porque o fluido de corte ajuda na lubrificação e na conservação da ferramenta. Na condição 3 observou-se um salto maior no desgaste da ferramenta com um menor tempo, dando ênfase ao ensaio a seco, que teve um aumento muito rápido devido ao aumento da velocidade de corte e de avanço. Na condição 4 que o avanço e a velocidade de corte são maiores, o desgaste chegou ao limite do critério de vida muito mais rápido que as demais condições.

4.1 Análise Econômica

A análise econômica a seguir tem o objetivo de avaliar o custo-benefício da usinagem a seco, ou com fluido de corte, de maneira que o foco será dado nos exemplos citados anteriormente: tinta epóxi, e usinagem do cilindro de motor. Durante os ensaios a concentração de fluido de corte foi de 7%, e 93% de água em um tanque com 60 litros dessa solução, portanto os gastos com fluido são apresentados abaixo.

Fluido de corte	Quantidade (litros)	Preço (R\$)	Preço/litro (R\$)	Quantidade utilizada (litros)	Preço da quantidade utilizada (R\$)
Carecut S 142 BF	20	1132,00	56,60	4,2	237,72
Clearedge 6515 BF	20	616,00	30,80	4,2	129,36
Syntilo 916	20	550,00	27,50	4,2	115,50

Utilizou-se o gráfico da condição 3, pois pode-se observar os tempos em que o critério de vida é atingido com todos os fluidos e o a seco.

Tabela 4 Tempo de desgaste de apenas uma aresta

Condições	A seco	Fluido A	Fluido B	Fluido C
Tempo(s)	175	390	200	205

A análise econômica foi baseada no fato de que com fluido de corte, o preço se eleva a mais que o a seco, porém a ferramenta de corte se desgasta mais na condição a seco, resultando em uma troca maior de ferramenta de corte e, assim, um gasto maior com a ferramenta de corte.

Os tempos estipulados na tabela 3 são referentes a uma aresta da ferramenta de corte, ou seja, é possível utilizar quatro vezes esse tempo, pois utilizam-se as quatro arestas da ferramenta de corte para somente depois descartar a ferramenta de corte e usar outra. E observou-se que comercialmente a ferramenta de corte utilizada possui um custo de R\$225,00 uma caixa com 10 ferramentas de corte, ou seja, R\$22,50 cada ferramenta de corte. A seguir apresenta-se a tabela com os tempos de desgaste das quatro arestas de uma ferramenta de corte.

Tabela 5 Tempo de desgaste das quatro arestas (uma ferramenta inteira)

Condições	A seco	Fluido A	Fluido B	Fluido C
Tempo(s)	700	1560	800	820

Relacionando-se o tempo de usinagem com o valor das ferramentas, pode-se afirmar que a troca de ferramentas de corte são maiores na usinagem a seco, e são menores na usinagem com o Fluido A, necessitando de uma maior número de ferramentas de corte para a usinagem a seco.

Levando em consideração um cenário de usinagem ideal: com jornada de trabalho de 8horas/dia, o custo do porta ferramentas de 200 reais, uma média de tempo de torneamento de 10min/peça, e a vida útil da ferramenta de corte da usinagem com fluido A e a tabela de parâmetros abaixo. Avaliou-se o custo da usinagem realizada com fluido A.

Tabela 6 Dados dos parâmetros

Parâmetros	
T_t	10 [min]
S_h	11,64 [\$/hora]
N_{fp}	1000
V_{si}	200
N_s	4
K_{pi}	R\$ 22,50
Z_t	100 peças
S_m	100 [\$/hora]
K_f	R\$ 237,72

As incógnitas utilizadas na tabela de parâmetros foram retiradas das equações de custo do referencial teórico no segmento 2.7 Custos da Produção.

Portanto os custos são:

Custos da mão de obra:

$$K_{us} = T_t \cdot S_h / 60$$

$$K_{us} = 1,94$$

Custo da máquina:

$$K_{um} = T_t S_m / 60$$

$$K_{um} = 16,67$$

Custo da ferramenta:

$$K_{ft} = (V_{si} / N_{fp}) + (K_{pi} / N_s)$$

$$K_{ft} = 5,825$$

$$K_{uf} = K_{ft} / Z_t$$

$$K_{uf} = 0,11$$

Custo total com Fluido A:

$$1,94 + 16,67 + 0,11 = 18,72/\text{peça} + \text{preço do fluido A}$$

Seguindo esse mesmos cálculos para os demais fluidos temos os mesmos custos de mão de obra, de máquina e de ferramenta mudando somente o custo de cada fluido. Então temos:

Custo fluido B:

18,72/peça + preço do fluido B

Custo fluido C:

18,72/peça + preço do fluido C

Custo total a seco:

18,72/peça

Calculou-se então o custo dessas usinagens com os gastos com a ferramenta de corte, sendo cada ferramenta de corte 22,50.

A análise econômica foi realizada para podermos verificar a quantidade de peças usinadas que tornam uma usinagem mais econômica ou não, encontrando o ponto de equilíbrio entre as usinagens.

Utilizaram-se as equações de custo da usinagem e para transformar as equações em função da quantidade de peças usinadas, calculou-se, a partir do tempo de vida da ferramenta de corte, a quantidade de ferramentas de corte necessárias para usinar uma única peça, levando em consideração também que cada usinagem leva 10 minutos em média.

Usinagem a seco:

Tempo de vida útil da ferramenta: 700s = 11,6 minutos

Portanto, 1 peça utiliza 86% da ferramentas de corte

Logo o custo é de R\$ 19,35 por peça utilizada

Aplicando na equação temos:

Custo = 18,72 x peças usinadas + 19,35 x peças usinadas

Custo = 38,07 x peças usinadas

Usinagem com fluido A:

Tempo de vida útil da ferramenta: 1560s = 26 minutos

Portanto, 1 peça utiliza 38% ferramentas de corte

Logo o custo é de R\$ 8,55 por peça utilizada

Aplicando na equação temos:

Custo = 18,72 x peças usinadas + 8,55 x peças usinadas + 1132,00

Custo = 27,27 x peças usinadas + 1132,00

Usinagem com fluido B:

Tempo de vida útil da ferramenta: 800s = 13,3 minutos

Portanto, 1 peça utiliza 75% ferramentas de corte

Logo o custo é de R\$ 16,88 por peça utilizada

Aplicando na equação temos:

$$\text{Custo} = 18,72 \times \text{peças usinadas} + 16,88 \times \text{peças usinadas} + 616,00$$

$$\text{Custo} = 35,60 \times \text{peças usinadas} + 616,00$$

Usinagem com fluido C:

Tempo de vida útil da ferramenta: 820s = 13,6 minutos

Portanto, 1 peça utiliza 73% ferramentas de corte

Logo o custo é de R\$ 16,43 por peça utilizada

Aplicando na equação temos:

$$\text{Custo} = 18,72 \times \text{peças usinadas} + 16,43 \times \text{peças usinadas} + 550,00$$

$$\text{Custo} = 35,15 \times \text{peças usinadas} + 550,00$$

Plotando essas equações num gráfico temos:

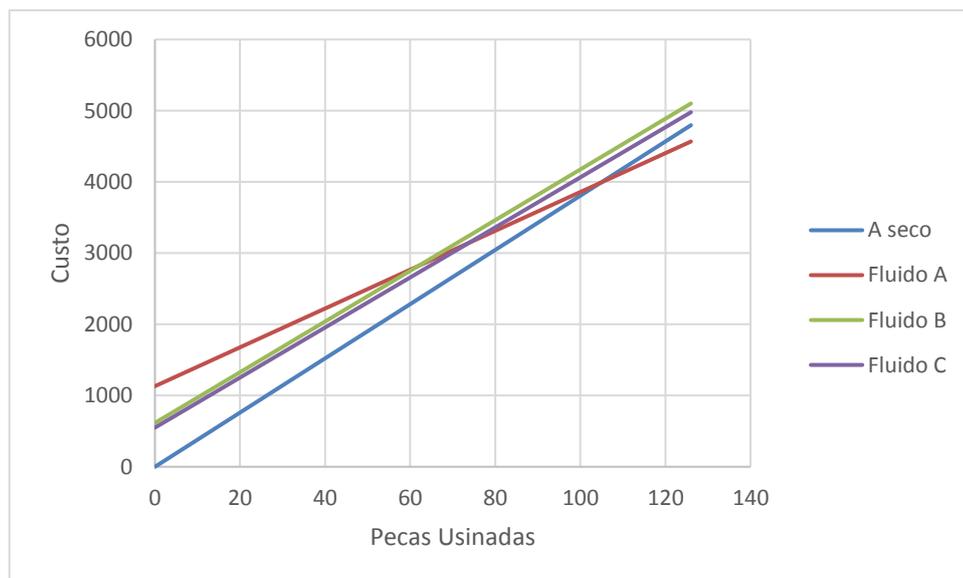


Gráfico 1 Custos x Peças Usinadas

O gráfico acima consta os custos e as peças usinadas das quatro usinagens. Efetuaram-se os cálculos para saber o exato ponto de interseção das retas e chegou-se aos seguintes números:

Tabela 7 Intersecção das retas

Intersecção das retas		
A seco	Fluido A	104,81
A seco	Fluido B	249,39
A seco	Fluido C	188,35

Fluido A	Fluido B	61,94
Fluido A	Fluido C	73,85
Fluido B	Fluido C	146,66

Observou-se também que ao final das retas, a usinagem com o Fluido A foi a mais econômica, seguida da usinagem com o Fluido C, em seguida a do Fluido B, e a mais cara foi a usinagem a seco.

5 CONCLUSÃO E DISCUSSÕES

Conclui-se que o ensaio a seco resulta em uma menor rugosidade, ou seja, um melhor acabamento superficial; já os ensaios com fluidos proporcionam uma maior rugosidade da superfície usinada, o que se dá pelo fato do fluido atuar mais como refrigerante do que como

lubrificante na usinagem. O processo de torneamento gera um atrito entre a ferramenta de corte e a peça usinada, o que gera calor na interface ferramenta-peça, e facilita a usinagem. Porém, o fluido de corte resfria a peça, fazendo com que o atrito entre peça e ferramenta volte a ser alto, aumentando as forças de usinagem, e isso pode acarretar um acabamento superficial pior do que o esperado.

A rugosidade é influenciada principalmente pelo avanço da ferramenta de corte, durante a usinagem. Apesar da velocidade de corte e o fluido de corte utilizado também influenciarem na integridade superficial, o avanço ainda possui uma parcela maior, ou seja, pequenas variações no avanço causam maiores variações na rugosidade da superfície gerada.

Observou-se que nem sempre uma indústria necessita de um acabamento superficial perfeito; na verdade, muitas vezes, seria até melhor um acabamento superficial pior. E esse acabamento pode ser adquirido somente aumentando o avanço no torneamento; porém com a utilização do fluido de corte pode-se, além disso, preservar mais a ferramenta de corte. Também foi possível observar que o fluido de corte, quando atua como refrigerante, conserva a ferramenta de corte, tornando possível um maior número de ensaios com o mesmo inserto; portanto, quando gasta-se mais com os fluidos de corte, pode-se economizar com a ferramenta, não havendo a necessidade de muitas trocas da mesma.

Dois estudos de dois produtos foram realizados, um foi com um cilindro de motor a combustão de carro, e outro foi uma peça qualquer que será pintada, ambos os produtos produzidos por torneamento.

O cilindro de motor deve possuir um acabamento superficial perfeito, uma vez que o pistão do motor desliza dentro dele, não podendo haver atrito entre eles, pois geraria um engripamento do pistão que causaria danos, então o processo de fabricação desse cilindro possui uma rugosidade muito baixa na ordem de $0,33\mu\text{m}$ no parâmetro Ra, essa fabricação é de extrema importância para a indústria, então o torneamento ideal seria a seco, para atingir os menores valores de rugosidade.

Uma peça a ser pintada deve possuir um acabamento superficial não tão bom, pois caso a superfície do metal ser muito lisa, fica difícil a aderência da tinta a peça, fazendo com que sejam necessárias várias camadas de tinta na peça para que ela seja pintada. Levando em consideração a tabela 1 de tinta epóxi, que é de acordo com as rugosidades de normas técnicas de aplicação de diversos tipos de tinta, conclui-se que a faixa de rugosidade do cilindro é bem maior que o valor da rugosidade da peça a ser pintada, portanto pode-se utilizar de um fluido de corte para o torneamento, prolongando a vida útil da ferramenta de corte.

A partir desses dois estudos, pode-se concluir que a rugosidade é um importante fator no torneamento de peças, e que suas diferentes formas de execução definem seu produto final, ou seja, se a indústria deseja uma peça com acabamento superficial mais perfeito, o torneamento a seco, com baixa velocidade de corte, e baixo avanço, seria o ideal. Porém se deseja um acabamento com alta rugosidade, então seria melhor efetuar um torneamento com fluido de corte, e uma alta velocidade de corte e avanço. Tal processo de fabricação deve ser ajustado de acordo com o produto desejado.

Então para se calcular as melhores condições de torneamento, deve-se avaliar a rugosidade desejada, o tempo que essa usinagem será realizada e a quantidade de peças a serem usinadas, todos esses fatores podem influenciar na melhor escolha da velocidade de corte, avanço, fluido de corte. Sendo rugosidades altas são conseguidas usinando-se com avanços e velocidades de corte altos, com fluido de corte; maior economia e tempo de usinagem menor acontecem usando-se o método da usinagem a seco, já que o gasto com poucas peças usinadas é mais baixo; maiores economia e tempo de usinagem acontecem durante a usinagem com fluido de corte, já que ao longo do tempo a economia com ferramenta de corte se torna mais viável que a economia com o fluido de corte. Todos esses aspectos devem ser analisados para se definir as melhores condições de usinagem.

A partir da análise econômica comparada com a produtividade, observou-se que a aquisição do fluido de corte A é o mais caro, porém após 104 peças usinadas ela se torna mais barata que a usinagem a seco, após 62 peças usinadas ela se torna mais barata que a usinagem com fluido B, e após 74 peças usinadas ela se torna mais barata que a usinagem com fluido C. Essa relação aplicada ao fluido B pode-se afirmar que a usinagem com fluido B se torna mais barata que a usinagem a seco quando usinamos 250 peças, e a partir de 146 peças usinadas a usinagem do fluido C se torna mais barato que com o fluido B. e o fluido C se torna mais barato que a usinagem a seco após 188 peças usinadas.

Então se conclui que a usinagem a seco é mais barata com um número menor de peças usinadas, porém com um alto número de peças, a usinagem com fluido A se torna mais barata, se seguirmos o pensamento de uma empresa que trabalha constantemente, a usinagem com o fluido A com certeza seria a mais viável economicamente. Lembrando que esses números de peças usinadas são possíveis com a quantidade de fluido necessário para usinagem, já que a troca a cada dois meses utilizam quantidades pequenas de fluido no caso dessa usinagem.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- ABNT NBR ISO 4287:2002, “Especificações geométricas do produto (GPS) - **Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade**”. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- BIANCHI, E.C., AGUIAR, P.R., PIUBELI, B.A., 2003, “**Aplicação e utilização dos fluidos de corte nos processos de retificação**”. Ed. Artliber, São Paulo.
- BOOGERT, R. M. **Tool management in computer aided process planning**. Tese (Doutorado) — Universiteit Twente, Enschede, Holanda, june 1994.
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica**. McGraw Hill, 1986.
- DINIZ, A. E. ; Da SILVA, M. B.; MOMBRU, R.; SCHROETER, R. B., 2005, **Fluidos de corte em usinagem**. In: Coleção Fábrica do Milênio. (Org.). Tecnologias Avançadas de Manufatura. São Paulo / SP: Novos Talentos, v. 1, p. 47-64.
- FERRARESI, D., 1977, “**Fundamentos da Usinagem dos Metais**”, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 751 p.
- FILHO, Antônio Piratelli. **Rugosidade Superficial. Terceiro Seminário de Metrologia**. Brasília: UnB: 2011. Faculdades de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2011.
- GNECCO, Celso; FRAGATA, Fernando. **Perfil de Rugosidade de Superfícies de Aço-carbono x Espessura de Tintas e de Esquemas de Pintura - Um Tema Importante para Ser Debatido**. Disponível em: <<http://www.abraco-sbpa.com.br/anais/008.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2017.
- GROOVER, M. *Introdução aos Processos de Fabricação* Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2014.
- HARMON, R. L.; PETERSON, L. D. **Reinventando a fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática**. Rio de Janeiro: Campus, 1991
- IGNÁCIO, E. A., 1998, “**Caracterização da legislação ambiental brasileira voltada para a utilização de fluidos de corte na indústria metal-mecânica**”. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFSC – Florianópolis, novembro.
- ISO, 1993, “**Tool Life Testing with Single Point Turning**”, ISO 3685.
- IOWA WASTE REDUCTION CENTER, 2003, **Cutting fluids management for small machining operation**. Research report, University of Northern Iowa.
- JUNELA, B. L.; SWKHON, G. S. **Fundamentals of metal cutting and machine tools**. Nova Délhi: John Wiley & Sons, 1987

KÖNIG, W. und KLOCKE, F., 1997, “**Fertigungsverfahren: Drehen, Fräsen und Bohren**”, Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg, 5 Auflage, Band 1, 471 pgs.

KURODA, M., 2006, **Aumentando a lucratividade com óleos vegetais**. O Mundo da Usinagem, 3ª. Edição, pp. 14-15.

LOUREIRO, Thiago Wilhelmsen. **ANÁLISE PARAMÉTRICA DO CONJUNTO PISTÃO, BIELA E ÁRVORE DE MANIVELAS COM FOCO NA REDUÇÃO DE PERDAS POR ATRITO E DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL**. 2009. 219 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Automotiva, Usp, São Paulo, 2009.

MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Editora Blucher, 2015.

MACHADO, A.R, WALLBANK, J., 1997, “**The Effect of Extremely Low Lubricant Volumes in Machining**”. Wear, vol. 210, pp. 76-82

MENDES, RonãRinston Amaury. **ESTUDO DA MINIMIZAÇÃO DO CUSTO DE USINAGEM DE AÇO DURO USANDO A METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA**. 2006. 96 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.

NELSON, D.; SCHAILBLE, J. “**Update: Cutting Fluids and Related Products**”, Cutting Tool Engineering, October – 1988, pp. 31-35.

NISHIDA, L. D. **Como determinar metas para o tempo de setup**. Disponível em: <http://www.lean.org.br/bases.php?&interno=artigo_18>. Acesso em: 04 maio 2018.

Sales, Gildiney Tavares, “**Torneamento do aço ASTM 300M endurecido com ferramentas de cerâmica e PCBN com geometria wiper**” / por Gildiney Tavares de Sales. –Itajubá, (MG): [s.n.], 2004.117 p.: il.

SALES, W.F., DINIZ, A.E., MACHADO, AR., 2001, “**Application of Cutting Fluids in Machining Processes**”. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences, Vol. XXIII, No. 2, pp. 225-240.

SCHAFFER, G. H. “**The many faces of surfasse texture**”. American Machinist and Automated Manufacturing, junho 1988, p. 61-68.

SOUZA, J.F., GOMES, J., SOUZA, J., 2008, “**Análise comparativa de usinabilidade entre três óleos vegetais distintos**”In: Anais do 12º Colóquio de Usinagem, Uberlândia – MG, outubro de 2008, anais em CD-ROM.

TEIXEIRA FILHO, F., 2006, “**A utilização do fluido de corte no fresamento do aço Inoxidável 15-5PH**”. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 206 p.

TRENT, E. M., WRIGHT, P. K., 2000, “**Metal cutting**”, 4th Edition, Butterworth-Heinemann, Londres, 446 p.

WEINGAERTNER, Walter L.; SOUZA, Anfré J.; SCHROETER, Rolf B..Determinação do fim de vida da ferramenta através do monitoramento da força de usinagem em torneamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2., 2013, Uberlândia. Uberlândia: Cobef, 2013. p. 1 - 10.