

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

EDGAR JOÃO POMPERMAIER

CHECAGEM DO RENDIMENTO, DURABILIDADE E DESGASTE DA FERRAMENTA
NA USINAGEM DE AÇO 1020 NA FRESA CNC COM UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS
DE CORTE.

Xanxerê

2022

EDGAR JOÃO POMPERMAIER

CHECAGEM DO RENDIMENTO, DURABILIDADE E DESGASTE DA FERRAMENTA
NA USINAGEM DE AÇO 1020 NA FRESA CNC COM UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS DE
CORTE

Monografia apresentada ao curso de
Engenharia Mecânica do Campus
Xanxerê do Instituto Federal de Santa
Catarina para a obtenção do diploma
de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Me Carlos Alfredo
Gracioli Aita.

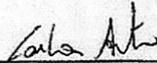
Xanxerê
2022

EDGAR JOÃO POMPERMAIER

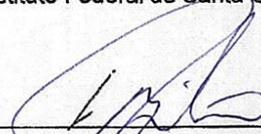
CHECAGEM DO RENDIMENTO, DURABILIDADE E DESGASTE DA
FERRAMENTA NA USINAGEM DE AÇO 1020 NA FRESA CNC COM
UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE.

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em (Nome da
Habilitação), pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora
abaixo indicada.

Xanxerê, 1 de dezembro de 2022

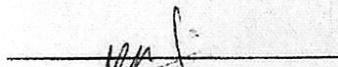


Prof. Carlos Alfredo Gracioli Aita, Me
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Jean Monteiro Pinho, Dr.
Orientador

Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Jean Carlos Araldi, Dr
Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter guiado meus passos nesta caminhada, à minha família por todo o apoio e compreensão durante os anos que foram necessários para eu chegar até aqui. Em especial, à minha esposa e companheira Idenir que me incentivou, me deu força e apoio ao longo do curso, mesmo nos momentos mais difíceis nunca deixou que eu desistisse. Agradeço também aos meus filhos, Lucas e Luiz Felipe que souberam compreender e tornar essa jornada mais amena.

Ao meu orientador, professor Carlos Aita, que logo de início compreendeu minha ideia e começou a dar todo o suporte que precisei durante a construção do Trabalho de Conclusão de Curso, (TCC).

Agradeço à Casa do Torneiro que, por acreditar no meu trabalho fez a doação da ferramenta e dos insertos que foram utilizados durante os experimentos para corroborar com o trabalho. À Vantec, empresa em que eu trabalho que fez a doação do material (aço 1020). Não esquecendo de agradecer ao Instituto Federal de Santa Catarina – Campus de Xanxerê, (IFSC), por ter cedido o laboratório para eu fazer os experimentos, aos técnicos em mecânica Fernando e Rômulo, minha gratidão pelo auxílio que me deram.

E, por fim, muito obrigado aos meus colegas e amigos que me ajudaram, seja com palavras, exemplos ou incentivo para eu continuar.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

RESUMO

Sabe-se que na atualidade há grande demanda por serviços na área de usinagem, motivo pelo qual requer processos mais eficazes e ferramentas com capacidades de serem submetidas a grandes esforços, para isso, a lubrificação da ferramenta é importante. O objetivo deste trabalho foi comparar o comportamento da ferramenta de corte na usinagem de um aço SAE 1020 no centro de usinagem CNC com e sem a utilização de fluido de corte lubri-refrigerante para identificar sua eficiência e a durabilidade dos insertos, rugosidade e consumo energético. Esta pesquisa é aplicada pois objetiva gerar uma nova abordagem sobre a utilização de fluidos de corte na usinagem de aço SAE 1020. O experimento foi realizado em um centro de usinagem CNC, foram utilizados 4 blocos de aço SAE 1020 de dimensões de 100 X 100 X 50 mm, 1 para cada experimento e retirado 33mm de material em passes de 1mm totalizando 20 min. de experimento. O experimento foi realizado com um cabeçote de Ø 32 mm com 4 insertos. Das quatro peças usinadas, a primeira foi empregada ar comprimido, a segunda fluido refrigerante, a terceira MQL e uma foi usinada sem qualquer fluido refrigerante. Após as medições e comparações, evidenciou-se que o desgaste dos insertos ficaram mais evidentes nos quais não foram utilizados fluido refrigerante, os micros crateras ficaram bem mais evidentes nos insertos refrigerados a ar e a seco que os insertos que foram utilizados algum fluido refrigerante para a usinagem. A diferença no consumo de energia durante os experimentos não foi significativa uma vez que as medições de consumo ficaram parecidas. E para concluir, conforme análise dos dados que foram citados acima, conclui-se que a utilização de fluido de corte representa um importante ganho no rendimento do processo de usinagem, sem contar que aumenta a vida útil da ferramenta.

Palavras chave: Fluido de corte; insertos; usinagem.

ABSTRACT

It is known that today there is a great demand for services in the machining area, which is why it requires more efficient processes and tools capable of being subjected to great efforts, for this, tool lubrication is important. The objective of this work was to compare the behavior of the cutting tool in the machining of SAE 1020 steel in the CNC machining center with and without the use of lubricant-coolant cutting fluid to identify its efficiency and the durability of the inserts, roughness and energy consumption. This research is applied because it aims to generate a new approach on the use of cutting fluids in SAE 1020 steel machining. The experiment was carried out in a CNC machining center, 4 blocks of SAE 1020 steel with dimensions of 100 X 100 X were machined 50 mm, 1 for each experiment and 33 mm of material removed in 1 mm passes totaling 20 min. of experiment. The experiment was carried out with a Ø 32 mm head with 4 inserts. Of the four machined parts, the first used compressed air, the second coolant, the third MQL and one was machined without any coolant. After the measurements and comparisons, it was evident that the wear on the inserts was more evident in which no coolant was used, the micro craters were much more evident in the air-cooled and dry-cooled inserts than the inserts that were used some coolant to the machining. The difference in energy consumption during the experiments was not significant since the consumption measurements were similar. And to conclude, according to the analysis of the data mentioned above, it is concluded that the use of cutting fluid represents an important gain in the efficiency of the machining process, not to mention that it increases the useful life of the tool.

Keywords: Cutting fluid; inserts; machining.

Lista de Figuras

Figura 1	Fresadora por fita perfuradora - CN
Figura 2	Definição de rugosidade no sistema Ra.....
Figura 3	Centro de usinagem CNC Romi D600 do IFSC campus Xanxerê.
Figura 4	Insertos e cabeçote a ser utilizado nos testes.....
Figura 5	Microscópio Olympus do IFSC campus Xanxerê.
Figura 7	Alicate Wattímetro Digital ICEL AW-4700.
Figura 8	Sistema de lubrificação MQL
Figura 9	Fluxograma da coleta de dados
Figura 10	Lubrificação e ângulo do bico injetor de fluido
Figura 11	Refrigeração por meio de fluido refrigerante
Figura 12	Sistema MQL.....
Figura 13	Consumo de energia
Figura 14	Disposição das peças e medidas da rugosidade
Figura 15	Fixação da ferramenta e da peça.....
Figura 17	Inserto novo (aumento de 40 vezes)
Figura 18	Insertos após usinagem a ar comprimido.....
Figura 19	Insertos após uso de fluido refrigerante
Figura 20	Insertos após uso do MQL
Figura 21	Insertos a seco
Figura 22	inserto após usinagem com ar comprimido
Figura 23	inserto após uso com refrigeração por fluido de corte.....
Figura 24	inserto após uso com refrigeração por MQL
Figura 25	inserto após usinagem sem refrigeração

Lista de tabelas

Tabela 1 Especificações técnicas do centro de usinagem ROMI D600	29
Tabela 2 Experimentos e seus respectivos parâmetros de corte.	30
Tabela 3 Especificações técnicas do TESA - Rugosurf 20.	32
Tabela 4 Especificações técnicas do Alicata Wattímetro Digital ICEL AW-4700.	33
Tabela 5 Medidas de rugosidade dos experimentos.	40
Tabela 6 Graus de rugosidade:	47

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	12
1.2 PROBLEMÁTICA DE PESQUISA	12
1.3 OBJETIVO GERAL	12
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Máquinas operatrizes	14
2.2 Fresadora convencional	15
2.3 Máquinas de controle numérico	16
2.4 Fresadora CNC	18
2.5 Parâmetros de usinagem em fresadoras CNC	20
2.6 Rugosidade	20
2.7 Lubrificação na usinagem CNC	22
3 METODOLOGIA	25
3.1 Delimitação da pesquisa	26
3.2 Do ponto de vista da sua natureza	26
3.3 Do ponto de vista da abordagem do problema	26
3.4 Do ponto de vista dos objetivos	26
3.5 Do ponto de vista dos procedimentos técnicos	27
4 UNIDADE DE ANÁLISE	27
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	33
5.1 COLETA DE DADOS	33
5.2 PRINCIPAIS RESULTADOS	34
5.2.1 CONSUMO FLUIDOS DE CORTE	35
5.3. Consumo energético	37
5.4 Rugosidade	38
5.5 DESGASTE DOS INSERTOS	39
6.0 ANÁLISE DOS RESULTADOS	42
6.1 ANÁLISE DA REFRIGERAÇÃO	42
6.2 ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO	43
6.3 ANÁLISE DA RUGOSIDADE	44
6.4 ANÁLISE DO DESGASTE DOS INSERTOS	45
7. CONCLUSÃO	48
9 RECOMENDAÇÕES FINAIS:	50
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Os objetos/produtos que estão presentes no nosso dia-a-dia, na grande parte dos casos, passaram por no mínimo um processo de fabricação. Certamente, não se avalia o caminho que este produto teve até chegar na nossa vida. Um dos processos de fabricação mais conhecido, para obtenção de peças, é chamado de Usinagem.

Segundo Neumann (2016), a usinagem é um dos mais antigos processos utilizados pelo homem para a produção, e esta história acompanha o desenvolvimento da indústria, novos materiais, a necessidade do aumento de produção e produtividade.

Toda essa evolução só foi possível a partir das modernas máquinas programadas por softwares capazes de desenvolver tarefas complexas, com rapidez e eficiência. De acordo com Machado (1997), com essa modernização, tornou-se possível agilizar a produção industrial, uma vez que, suas velocidades de corte no início do século eram de 3 a 5 m/min utilizando ferramentas de aço carbono. Na atualidade, as máquinas passaram a operar com avanços que variam de 3000 a 5000 m/min com ferramentas de alto desempenho (MACHADO, 1997).

A partir dessa rápida mudança de pensamento, criação e evolução de novas máquinas operatrizes que modernizou ainda mais a usinagem, trazendo opções, possibilidades de processamento e obtenção de peças das mais variadas geometrias e tamanhos, (NEUMANN, 2016).

Contudo, para suprir a demanda existente, faz-se necessário criar ferramentas cada vez mais resistentes, estas, com a capacidade de submeter-se a grandes esforços mecânicos/térmicos e de desgaste. Todavia, não basta ter ferramentas robustas e de alto desempenho, é preciso operacionalizá-las da melhor forma possível. Sendo assim, para que ocorra a viabilidade de trabalho das ferramentas, necessita-se de fluidos lubri-refrigerantes, estes que, são responsáveis principalmente pela refrigeração e a lubrificação das ferramentas.

A escolha de um fluido de corte adequado é uma necessidade, mas se torna uma tarefa complicada, o qual o técnico ou engenheiro deverá ter em mãos, informações técnicas detalhadas a respeito dos prováveis lubrificantes a serem utilizados.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de Engenharia Mecânica visou estudar o efeito da lubri-refrigeração na fresagem do aço AISI 1020.

1.1 JUSTIFICATIVA

A escolha de um fluido de corte adequado para uma operação de usinagem torna-se uma tarefa complicada, pois a utilização do fluido de corte deve justificar o seu custo-benefício, uma vez que, uma boa escolha poderá fazer toda a diferença na peça a ser usinada, (MACHADO, 1997).

O que dificulta é a grande variedade de produtos disponíveis no mercado que se torna muito competitivo. Diante dessa realidade, faz-se necessário que o técnico ou engenheiro responsável tenha as informações técnicas detalhadas a respeito dos prováveis fluidos a serem utilizados. (VIEIRA,1997).

De acordo com Lima Júnior, 2021 a uma grande variedade de fluidos de corte no mercado, apesar disso, a grande evolução tecnológica das operações de usinagem, as suas formulações se tornaram cada vez mais complexas. Sendo assim, sua classificação é muito complicada, pois os constantes trabalhos de pesquisa na área têm desenvolvido uma grande abundância de fluidos de corte.

A enorme gama de fabricantes e opções de produtos dos mais diversos, dificulta ainda mais o processo de escolha do fluido mais eficaz, portanto, em cada situação, o responsável pela escolha tem que ter em mãos dados científicos e técnicos precisos que informem detalhadamente sua eficiência para cada processo, (VIEIRA,1997).

Mesmo com o aprimoramento dos fluidos de corte, estes, ainda são poluentes e causam danos ao meio ambiente, dermatites em operadores, poluição da água e contaminação do solo durante o descarte, (TOLEDO,2020).

A partir dessas informações, é possível aguçar a curiosidade a respeito de um fluido de corte que venha a atender o processo de fabricação, buscando o melhor custo benefício, e que o mesmo atenda a cada processo com a máxima eficiência.

1.2 PROBLEMÁTICA DE PESQUISA

Diante do exposto, pergunta-se: Em que medida a checagem do rendimento, durabilidade, consumo de energia e desgaste da ferramenta na usinagem de aço 1020 na fresa CNC com utilização de fluidos de corte pode contribuir para refrigerar e diminuir os impactos nocivos aos seus operadores?

1.3 OBJETIVO GERAL

Comparar três fluidos de corte diferentes para identificar sua eficiência, em termos de rugosidade, desgaste de ferramenta e consumo de energia.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- medir os parâmetros de rugosidade do material classificado e usinado.
- avaliar o desgaste da ferramenta com o uso de medições em microscópio, conforme norma da ABNT
- medir o consumo de energia elétrica, uso de fluidos e o desgaste da ferramenta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Máquinas operatrizes

O segmento de máquinas operatrizes cresceu e continua crescendo gradativamente ao longo da história. Esse processo de evolução das máquinas não foi fácil, visto que a indústria de máquinas operatrizes necessitou acompanhar a demanda industrial para transformar as matérias-primas em elementos ou componentes por meio de máquinas.

Ao revisarmos o início da história do torno mecânico, podemos dizer que as máquinas operatrizes evoluíram muito desde a sua concepção, até mesmo o italiano Leonardo da Vinci deu sua parcela de contribuição no processo evolutivo do torno. Ele projetou um torno que poderia ser operado por uma única pessoa e trabalhava com movimento de rotação contínua. O sistema motriz é parecido com o de uma máquina de costura, constituído de um pedal e da roda que mantinha o movimento inercial (DE OLIVEIRA, 2015)

Para Machado (2009), até meados do século XVIII, o principal material utilizado para peças, em engenharia, era a madeira, salvo raras exceções, a qual era usinada com ferramentas de aço-carbono. Com a Revolução Industrial, novos e mais resistentes materiais apareceram, impulsionando o desenvolvimento dos aços-liga como ferramentas de corte.

Em meados do século XIX, os inventores ingleses, Henry Maudslay e Joseph Whitworth, colocaram vários acessórios nos tornos da época, o que proporcionou um grande avanço na produção de peças torneadas, eles criaram o porta-ferramentas (que possibilitou trabalhar com materiais mais duros pois o torneiro não precisaria mais segurar as peças com as mãos), o recâmbio e o fuso para avanços automáticos, acoplaram o torno a um motor a vapor e adicionaram uma polia escalonada para fazer troca de rotações.

Conforme Machado (2009), foi apenas no século XIX que com o desenvolvimento do aço rápido foi possível a criação de ferramentas mais resistentes e assim realizar operações de usinagens mais complexas.

Nos dias de hoje, outros modelos de torno mecânicos são usados, entre alguns tipos, podemos listar os tornos mecânicos, tornos CNC, tornos verticais e outros mais. Com o trabalho realizado com ferramentas, aplicações de informatização, desenvolvimento

da tecnologia e automação, há a contribuição eficaz para o trabalho humano, substituindo as formas antigas de atribuições, em que as máquinas eram controladas manualmente, cada vez que fossem utilizadas. (MACHADO, 2009).

Os materiais a princípio utilizados na fabricação de máquinas a vapor eram o ferro fundido, ou latão e o bronze, facilmente usinados com as ferramentas de aço-carbono temperado disponíveis na época. Ainda assim, eram necessários 27,5 dias de trabalho para mandrilar um dos cilindros de uma máquina de grande porte (TRENT, 1985 apud MACHADO, 2009)

Passado algum tempo, surgiu o torno automático. Em 1797, Henry Mandalay desenvolveu o primeiro torno com avanço automático, permitindo a produção de roscas com passo definido (MACHADO, 2009). Na sequência, vieram outras máquinas operatrizes como a mandriladora e a plaina limadora e, em 1860 a retificadora e fresadora convencional.

2.2 Fresadora convencional

Machado (2009), descreve que a primeira fresadora universal foi por J. R. Brown em 1862, utilizada inicialmente para a produção de canais em brocas helicoidais. Outro desenvolvimento importante ocorreu em 1896, quando F. W. Fellows desenvolveu uma máquina capaz de produzir praticamente qualquer tipo de engrenagem.

As fresadoras são máquinas-ferramenta que fornecem a rotação necessária para as ferramentas, com uma mesa que permite a fixação, posicionamento e avanço da peça. Diversos projetos de máquinas-ferramenta satisfazem esses requisitos. Para apresentá-las, inicialmente classificaremos as máquinas de usinagem como horizontal ou vertical. Uma fresadora horizontal tem um eixo de rotação horizontal. Essa concepção é bem adequada para a realização de fresamento periférico (por exemplo, fresamento tangencial de face, canais, cantos e perfil) em peças com geometrias aproximadamente cúbicas. Em uma fresadora vertical, o eixo de rotação é vertical, a orientação é apropriada para fresamento de faceamento, topo, moldes e matrizes em peças relativamente planas (GROOVER, 2014)

A operação de fresamento é reconhecida pela versatilidade na produção de geometrias diversas, além de garantir elevadas taxas de remoção de material, visto que a ferramenta (fresa) possui múltiplas arestas de corte (MACHADO, 2009).

A usinagem utilizada para a confecção de peças com geometrias diversas é conhecida

como fresamento, podendo ser este um procedimento complexo. A ferramenta utilizada no processo de fresamento é chamada geralmente de fresa de topo. Esta ferramenta rotativa é multicortante possui arestas de corte dispostas de forma simétrica em relação ao eixo da ferramenta. Durante este processo de usinagem, a fresa gira e se desloca em relação ao material a ser usinado na direção escolhida, removendo cavacos e conferindo ao material a dimensão, forma e acabamento desejado a peça final (DINIZ et al., 2013).

Já no século XX surgiram produtos feitos de materiais mais duráveis e, conseqüentemente, mais difíceis de serem usinados com isso, o aparecimento das ferramentas de aço rápido, e mais tarde de carboneto de tungstênio, permitiu a usinagem de aços e de outros materiais metálicos com uma boa produtividade, também favorecida pelos avanços das máquinas-ferramentas, como o desenvolvimento de máquinas automáticas e, mais tarde, de máquinas comandadas numericamente (CN) (MACHADO 2009)

Por fim, a partir da década de 1940, os processos não convencionais de usinagem passaram a ganhar importância pela capacidade de produzir peças de geometria complexa em materiais de difícil usinabilidade, garantindo assim acabamento de elevada qualidade e tolerâncias estreitas. (MACHADO, 2009).

Com o passar dos anos, a evolução dos maquinários, bem como de ferramentas, tornou-se mais eficientes e trouxe ao mercado a automatização das máquinas chegando assim às fresadoras com comando numérico.

2.3 Máquinas de controle numérico

A industrialização cada vez oferta novas opções em máquinas no campo da mecanização. O conceito de automatização é geralmente associado à fabricação do tipo contínuo. Porém, segundo MACHLINE (2013), existe uma modalidade de equipamento própria para a automatização da fabricação intermitente, por lotes chamadas máquinas-ferramenta de controle numérico (MFCN).

No que se refere Machline (2013), o acesso à tecnologia da automação é difícil e oneroso para os países recém-industrializados, que não dispõem de recursos humanos e nem financeiros para avançar nessa área.

No desenvolvimento histórico das máquinas, o homem sempre esteve procurando soluções que permitissem aumentar a produção, com qualidades superiores e a

minimização do desgaste físico na operação (comando) das máquinas.

Assim, foram surgindo muitas soluções. No entanto, nenhuma oferecia, até recentemente, a flexibilidade necessária para o uso de uma mesma máquina na usinagem de peças de configurações diferentes e em lotes de reduzido número de peças. (MACHLINE,1982).

Para Machline (1982) um exemplo dessa situação é o caso do torno já citado acima, a evolução do torno paralelo universal levou à criação do torno revólver, do torno copiador, do torno automático e do torno com programação elétrica, os quais ganharam em produtividade e na qualidade do produto fabricado. Mas continuaram limitados na possibilidade de mudança fácil de tipo de trabalho.

A solução finalmente encontrada consiste em dotar as máquinas de um "cérebro" (comando numérico), que tem a faculdade de ler e transformar as instruções em comandos para os diferentes órgãos da máquina ou, em outras palavras, considerando-se a máquina como um todo, diríamos que está "entende" um certo número de palavras e, desde que só estas sejam utilizadas, o homem pode comunicar-se com a máquina. (MACHLINE 1982).

A partir dessa definição, pode-se dizer as máquinas operadas por comando numérico são capazes de receber informações através de entrada de dados própria, compilar estas informações e transmiti-las em forma de comando à máquina operatriz, de modo que está, sem a intervenção do operador, realize as operações na sequência programada, sendo assim, outra característica importante das máquinas CNC é sua capacidade elevada de arquivo de programa. (FARDIN,2010).

Os comandos numéricos computadorizados começaram a ser usados por volta de 1970, sendo que hoje o uso do CNC é perfeitamente viável e economicamente vantajoso em todos os aspectos. Os CNC começaram com a incorporação de um minicomputador. Hoje, os CNC já não adotam mais os minicomputadores, e sim os microprocessadores. O microprocessador leva à diminuição de custo, ao aumento da capacidade e à redução do tamanho, (BRAGAGNOLO,2018).

Uma das vantagens do comando numérico é que pode ser utilizado em qualquer tipo de máquina-ferramenta. Sua aplicação tem sido maior nas máquinas que executam diferentes operações de usinagem. (MACHLINE 2013).

À medida que o comando vai-se desenvolvendo e que são acrescentados novos recursos, mais versátil se torna a máquina. Citamos, como exemplos, a fresadora CNC que vem

revolucionando o mercado produtivo.

2.4 Fresadora CNC

De acordo com Cassaniga (2005) o passo seguinte na evolução das máquinas operatrizes foi o surgimento do Controle Numérico (NC), nos anos 1950. Estas eram máquinas controladas por fitas ou cartões perfurados, vindo assim a produzir elementos com tempos mais reduzidos, abreviando os tempos de fabricação e permitindo maior versatilidade, agilidade e precisão.

A partir desta revolução, surgiram outras inovações como o trocador automático de ferramentas em 1956 e em 1958 equipamentos que passaram a utilizar controle de posicionamento de ponto a ponto. Para aperfeiçoar o processo industrial no ano de 1957, Patrick Hanratty construiu o primeiro sistema de programação de controle numérico comercial. (CASSANIGA, 2005.)

Em 1960, Ivan Sutherland foi o primeiro a usar uma interface de usuário totalmente gráfica e no ano de 1971, Patrick Hanratty criou um sistema para trabalhar virtualmente em todas as máquinas. Esse sistema, segundo Cadenas, foi um sucesso e passou a ser atualizado para trabalhar em máquinas de computador com 16 e 32 bits, sendo que nos dias atuais os softwares CAD (do Inglês, Computer Aided Design, desenho assistido por computador) podem ser rastreados até as raízes do software ADAM (Automated Drafting and Machinery).

Nesse período a indústria nos Estados Unidos estava em franco desenvolvimento, mas havia a necessidade de padronização no sistema, o que levava ao dispêndio de altos investimentos com equipes técnicas especializadas em diferentes linguagens de programação dentro da mesma empresa devido a maquinários de diferentes fabricantes, os quais desenvolviam suas próprias linguagens de programação. (BRAGAGNOLO, 2018, p.21).

Para Capelli (2008), a uma linguagem comum, neste caso a padronização, a Electronic Industries Association (EIA) realizou pesquisas junto com trabalhadores no setor das máquinas ferramentas, e usuários industriais. Possibilitando assim a inicialização da padronização do trabalho deste tipo de maquinário, definindo um conjunto de códigos e caracteres aplicados na perfuração de fitas, para que os fabricantes de máquinas pudessem unificar a entrada de dados no maquinário, reduzindo o tamanho físico dos comandos e aumentando a capacidade de armazenamento de dados.

Figura 1 Fresadora por fita perfuradora - CN



Fonte: Bragagnolo (2018)

A padronização universal veio a ser criada nos anos 1958 no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) para ser usada em laboratórios de servomecanismos e foi chamada de código-G (G-Code). Em 1967 surgiu no Brasil as primeiras máquinas controladas numericamente, vinda dos Estados Unidos, e durante a década de 70 o Brasil passou a fabricar as primeiras máquinas nacionais utilizando o CN, e ao mesmo tempo iniciando a importação de máquinas capazes de utilizar o COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO, (CNC), dos Estados Unidos que veio assim a contribuir com o desenvolvimento da indústria nacional brasileira. (BRAGAGNOLO,2018).

Nos dias atuais, existem fresadoras que apresentam diversos números de eixos, as de três eixos são as mais encontradas, estas, podem exercer inúmeras diversidade de tarefas. Porém, mesmo com toda essa capacidade, não são suficientes para a usinagem de peças de alto grau de complexidade.

Algumas máquinas fresadoras são modulares, ou seja, eixos adicionais podem ser agregados a elas, na fresadora CNC, com a adição do eixo rotativo, serão possíveis realizar o torno de fresamento de uma peça, operação que se faz é necessário girar tanto a peça em mais de um sentido como também a ferramenta simultaneamente (SBARDELOTTO, 2017).

Com isso, torna-se interessante perceber que evoluímos em termos tecnológicos em todos os segmentos industriais, e em especial, no que diz respeito a tecnologia das

fresadoras CNC que está cada vez mais auxiliando na demanda da produção industrial e, assim, tornando-se até mais competitiva no mercado de trabalho.

2.5 Parâmetros de usinagem em fresadoras CNC

As características e parâmetros de corte no processo de fabricação são imprescindíveis para que se possa obter a usinagem de peças com qualidade. Isso só se torna possível a partir da utilização dos parâmetros adequados na usinagem de fresas CNC.

Segundo Stemmer (2007) os parâmetros mais influentes no processo de fresamento são definidos e esquematizados a seguir. Avanço é a grandeza do movimento de avanço, ou percurso de avanço em cada curso da ferramenta. Avanço por dente é o percurso de avanço por gume ou dente, medido na direção do avanço da ferramenta. Avanço de corte efetivo é a distância entre duas superfícies de corte consecutivas formadas, medida no plano de trabalho e perpendicular à direção efetiva de corte.

Velocidades devem-se distinguir como velocidade de corte, velocidade de avanço e a velocidade efetiva de corte. Velocidade de corte é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante, segundo a direção e o sentido de corte. Velocidade efetiva de avanço é a velocidade instantânea da ferramenta segundo a direção e sentido de avanço. Velocidade efetiva de corte é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta de cortante, segundo a direção efetiva de corte. Profundidade de corte é a profundidade de penetração da aresta principal de corte, medida numa direção perpendicular ao plano de trabalho. Espessura de penetração é a espessura de corte em cada curso, medida no plano de trabalho e numa direção perpendicular à direção de avanço. (FERRARESI, 1970).

Podemos citar aqui, que existem inúmeras variantes para parâmetros, estes, são os principais, mas podem ser inseridos outros de acordo com a especificação do material a ser usinado. Alguns requisitos de usinabilidade devem ser atendidos, sendo assim, fica a critério do programador desempenhar de maneira eficiente o corte da ferramenta que venha atender a qualidade requerida para a peça.

2.6 Rugosidade

A rugosidade é um erro micro geométrico que, no processo de usinagem é um fator

que contribui para o acabamento do material a ser usinado, em função das propriedades de corte, da máquina e/ou da ferramenta (AGOSTINHO; RODRIGUES; LIRANI, 1977). Segundo Pereira (2006), a rugosidade se caracteriza pela sua forma de medição. No Brasil, adotou-se, através da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, o sistema de medição por “Linha Média”. Neste sistema, é tomado como base uma linha imaginária traçada entre a média dos picos e vales das irregularidades e se direciona paralelamente à direção geral do perfil e localizada dentro do comprimento de amostragem.

A Norma ABNT NBR ISO 4287 (2002) proporciona múltiplos parâmetros para aferir a rugosidade de peças, tendo cada parâmetro, sua própria característica. Contudo, o mais utilizado é o R_a , uma vez que alterações no seu valor representam alterações no processo, em especial no desgaste da ferramenta (MUMMERY, 1992; MACHADO *et al.*, 2009). Sendo assim, neste trabalho será realizada uma análise de base estatística relacionada aos dados obtidos em avaliações da rugosidade média (R_a) nas peças advindas dos ensaios de vida da ferramenta. A forma de analisar é feita tomando como base uma pequena parcela da superfície conforme mostra a figura 02.

Figura 2 Amostra da superfície analisada e elementos que compõem a irregularidade.

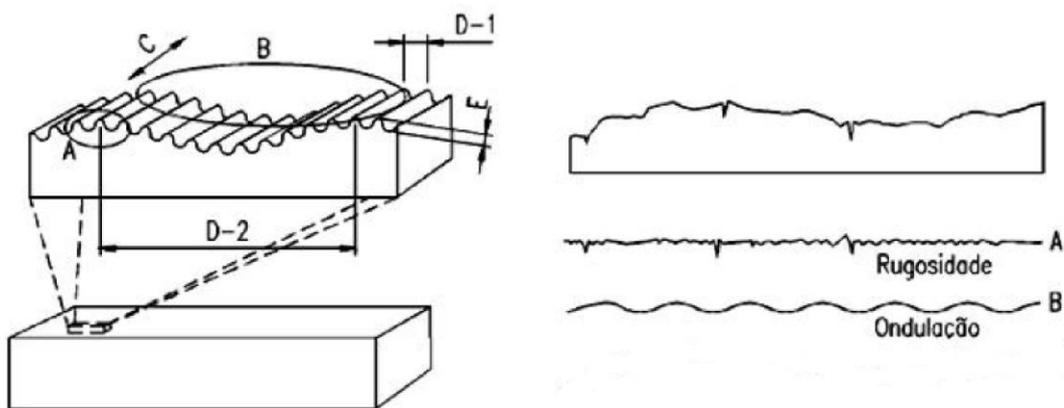
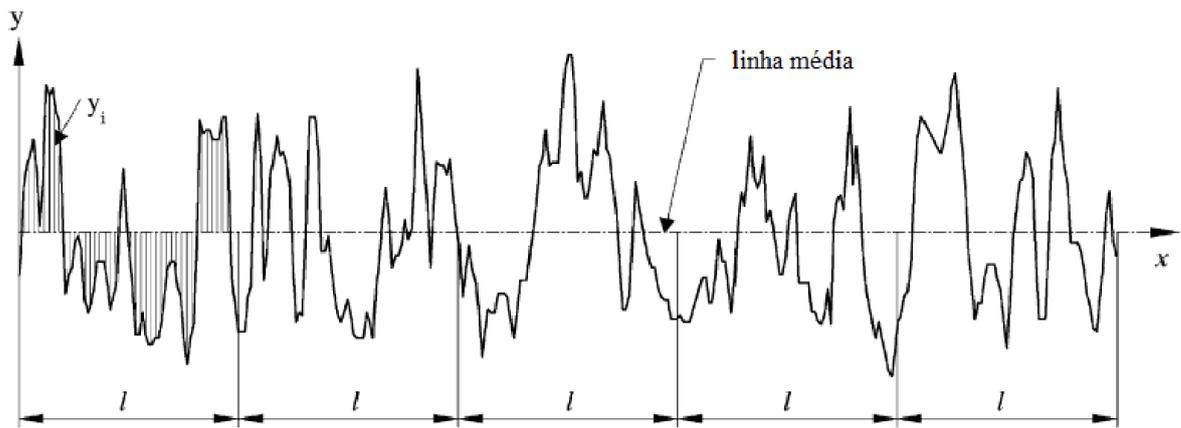


Figura 02- Fonte: FERREIRA, S.d.

Na figura 03, a rugosidade média é a média aritmética das alturas de pico e profundidade de vale em relação à linha média dentro de um percurso de medição (L_m), sendo que este foi o tipo de análise realizado neste trabalho.

Figura 2 Definição de rugosidade no sistema R_a .



Fonte: Gadelmawla 2002.

2.7 Lubrificação na usinagem CNC

O primeiro pesquisador que mediu a influência do fluido de corte no processo de usinagem foi o americano F. W. Taylor (1894), que conseguiu aumentar a velocidade de corte da ferramenta em 33% jorrando grande quantidade de água na região da peça-ferramenta-cavaco, sem prejuízo na vida útil da ferramenta (FERRARESI 1970). Sua pesquisa baseou-se em utilizar água para resfriar a ferramenta, que era afetada termicamente pela ação da retirada de material. Porém, somente a água no processo acelerava processos corrosivos no material e tinha pouca ação lubrificante. A solução para a época foi adicionar junto à água uma espécie de detergente, que parcialmente conseguiu diminuir os desgastes da ferramenta e da peça (DINIZ, 1999).

Um fluido de corte é qualquer líquido ou gás aplicado diretamente sobre a ferramenta para melhorar seu desempenho do corte (GROOVER, 2014). A lubrificação permite uma redução no coeficiente de atrito entre o cavaco e a ferramenta, os fluidos de corte minimizam a geração de calor na zona de cisalhamento e na zona de atrito, e o atrito no cavaco-ferramenta e ferramenta-superfície usinada, assim removendo calor e reduzindo atrito (DINIZ 1999).

Se uma operação de usinagem é caracterizada por velocidades muito altas de rotação da peça ou ferramenta, haverá um acréscimo na temperatura durante a remoção de cavacos, portanto, a refrigeração da área exposta deve ser feita. Quando a velocidade de rotação durante o processo de usinagem é relativamente pequena, o atrito entre ferramenta, e a peça na produção de cavaco é bastante significativo, com

isso, uma forma de diminuir a ação do atrito é adicionar um lubrificante no processo (DINIZ 1999).

Quando a usinagem é com tolerâncias mais rigorosas, principalmente em máquinas automáticas, os efeitos térmicos se tornam mais evidentes e o uso de fluidos de corte se torna mais imprescindível para controlar a temperatura, tolerâncias e a redução no consumo de energia de corte, por sua vez, o custo da ferramenta também será menor, pois quanto maior for sua produção em número de peças. (FERRARESI, 1970).

A composição química dos fluidos de corte é apresentada em quatro categorias: óleos de corte, óleos emulsionados, fluidos semissintéticos e fluidos sintéticos. Todos eles têm funções tanto de refrigeração como de lubrificação. Os óleos de corte são mais ativos como lubrificantes, enquanto as outras três categorias são mais eficazes como refrigerante, porque são constituídas principalmente por água (GROOVER, 2014)

A seleção correta do fluido de corte está diretamente ligada ao material da peça, a severidade da operação, o material da ferramenta e a operação de usinagem (DINIZ 1999).

Para escolher o tipo correto de fluido, é de extrema importância entender o processo e identificar qual será a necessidade de lubrificação ou refrigeração. Caso seja lubrificação, o ideal serão os fluidos de corte integrais (prontos para uso), pois garantem maior lubricidade. Se for refrigeração, opta-se por fluidos de corte solúveis (diluídos em água), conhecidos também como óleos solúveis ou óleos refrigerantes, que controlam principalmente a temperatura. (CHIAVERINI,1982).

O fluido de corte na usinagem pode ser aplicado de diferentes formas, a posição e vazão são parâmetros ajustados conforme necessidade de usinagem, material a ser usinado e a direção do fluido disposta na peça é ajustada de forma a ejetar cavaco produzido, ou diretamente na superfície diminuindo a temperatura da peça. (SANTOS e WISLEY, 2007).

Os métodos mais convencionais de aplicação são: (SANTOS e WISLEY, 2007).

Fluido de baixa pressão: É o sistema mais simples devido à aplicação da porção do líquido sobre a peça acontecer de uma só vez, sem a necessidade de um sistema complexo para isso.

Mínima quantidade de lubrificante (MQL): Sistema em que o fluido é aplicado à região de corte com o auxílio de ar comprimido previamente parametrizado. O resultado é um sistema que reduz de forma muito significativa, a quantidade de fluido durante a operação.

Sistema de alta pressão: Método que deposita o fluido em conjunto com a alta pressão. É um sistema muitas vezes utilizado para quebrar o cavaco em usinagem.

O que distingue estes três métodos de aplicação são os efeitos no custo final de operação, fatores ecológicos e de saúde. O custo para manter um sistema de alta pressão muitas vezes é alto e devido à característica desse processo, os riscos de acidentes também são fatores que devem ser levados em conta. O sistema de baixa pressão tem a garantia de uma refrigeração localizada, mas é um sistema que deve haver um controle sobre o armazenamento do fluido utilizado. Já o método de aplicação de fluido, que tem o objetivo de utilizar a mínima quantidade, é uma tendência estudada pelas indústrias, devido a custos que incidem sobre o fluido, armazenagem e questões ambientais (RIBEIRO 2017).

Em um sistema convencional de usinagem, a vazão de fluido de corte durante a operação varia em torno de 5 l/min (SANTOS e WISLEY, 2007). Esta vazão é uma quantidade grande, e que pode, em alguns casos ser até maior, se uma peça de grande porte estiver em usinagem. Matje (2019) reforça que, atualmente a indústria tem trabalhado fortemente na tentativa de reduzir custos e tornar o processo de usinagem cada vez menos agressivo ao meio ambiente.

Por isso, existe uma necessidade cada vez maior da usinagem a seco, sem aplicação de fluido de corte. No entanto, como isso ainda não é inteiramente possível para diversos processos de usinagem, novas técnicas de aplicação de fluido de corte em baixos volumes estão sendo investigadas.

Nesta técnica o fluido de corte em baixa quantidade é aplicado juntamente com um fluxo de ar, método da pulverização com ar comprimido. Comumente, a pulverização de ar comprimido com baixa quantidade de fluido de corte é direcionada contra a saída do cavaco, ou entre a superfície de folga da ferramenta e a peça. Essa técnica é conhecida e difundida atualmente como Mínima Quantidade de Lubrificante - MQL. Na usinagem e suas mais variadas operações ocorrem altas forças de cisalhamento, tanto no material usinado quanto nas interfaces cavaco-ferramenta e ferramenta-peça, por decorrência, altas temperaturas que podem afetar de forma negativa a vida útil da

ferramenta e as propriedades mecânicas do material usinado, além da qualidade superficial que está sendo usinada, enquanto esforços elevados podem causar danos à ferramenta e à peça, e causam maior consumo energético.

Uma abordagem bastante utilizada para reduzir esforços e temperaturas em usinagem é o uso de fluido de corte, que busca reduzir a temperatura, promover a lubrificação da região de corte e auxiliar na retirada do cavaco e, quando selecionados e aplicados corretamente, geram redução de forças e temperaturas com o aumento da vida da ferramenta. (MATJE, 2019).

Sendo assim, pensando nos problemas causados pelo sistema convencional, foi desenvolvida uma técnica diferente de lubri-refrigeração que melhora vários desses problemas e melhora as condições de produção, essa técnica é chamada de MQL (mínima quantidade de lubrificante), essa técnica atua de maneira diferente do sistema convencional de lubrificação na usinagem de peças.

Estudos realizados por Silva e Wallbank (1998), formaram cálculos baseados na necessidade de uma vazão ideal, e chegaram à conclusão que ela pode chegar a ser de 0,1 ml/h. No método usando MQL o fluido de corte é misturado com ar comprimido é injetado em uma determinada pressão no sistema a ser lubrificado, a quantidade de fluido utilizado nesse método pode variar de 10 ml/h a 50 ml/h, medidas que são para uso geral, uma vez que dependendo do tamanho da ferramenta, no caso de ferramentas com diâmetros superiores a 40 mm, a quantidade de fluido pode ser superior a 150 ml/h podendo chegar até a 500ml/h. (FREITAS, 2017).

Como vimos acima, ter um bom conhecimento do fluido de corte a ser utilizado é fundamental, o técnico ou engenheiro deve ter em suas mãos na hora da escolha a ficha técnica do produto e um conhecimento do processo no qual o mesmo será usado.

3 METODOLOGIA

Segundo (SILVA; MENEZES, 2002) essa seção apresenta a caracterização da pesquisa, juntamente aos materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho, traçando um caminho, apontando erros e auxiliando nas decisões a serem tomadas.

3.1 Delimitação da pesquisa

Neste capítulo, observa-se quais os aspectos que balizaram o presente estudo. Foi abordado a natureza da pesquisa, a forma de abordagem do problema, os objetivos alcançados e as técnicas utilizadas para a realização dos experimentos e seus resultados.

3.2 Do ponto de vista da sua natureza

Esta pesquisa caracterizou-se como uma pesquisa aplicada por ter como objetivo gerar uma nova abordagem sobre a utilização de fluidos de corte na usinagem de aço SAE 1020 com uma fresadora CNC. Assim, Silva e Menezes (2002), corrobora que a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para o aproveitamento prático e solucionar problemas específicos.

3.3 Do ponto de vista da abordagem do problema

A respeito do problema, essa pesquisa classifica-se como uma pesquisa quantitativa, uma vez que, foram utilizados ensaios de usinagem com parâmetros de corte pré-estabelecidos. Estes, aplicados em três ensaios com fluidos de corte diferentes, posteriormente, foi identificado e avaliado qual o método adequado para responder ao problema da pesquisa.

A análise dos dados realizou-se por meio de gráficos e tabelas, fornecendo a possibilidade de comparar qual foi o melhor processo, levando em conta desgaste da ferramenta, rugosidade e consumo de energia. A esse respeito, Silva e Menezes (2002), consideram que a pesquisa quantitativa é aquela que podemos quantificar, ou seja, significa traduzir em números para classificá-los e analisa-los.

3.4 Do ponto de vista dos objetivos

Do ponto de vista dos objetivos, caracterizou-se por ser uma pesquisa explicativa, e, também, descritiva pois, esta, visou a observação dos resultados que foram obtidos através dos experimentos e coleta de dados. Segundo Gil (1991) fatores que determinam as características ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, aprofunda o conhecimento da realidade porque explica o motivo, o “porquê” das

coisas, através de técnicas padronizadas de coleta de dados.

3.5 Do ponto de vista dos procedimentos técnicos

Esta pesquisa distinguiu-se experimentalmente e um estudo de caso para a analisar como os processos de usinagem utilizados e seus impactos no consumo de insertos. A partir da análise dos dados, experimentos, observações e manipulação das variáveis, buscou-se melhores resultados na usinagem e, conseqüentemente maior rendimento, diminuição nos custos com ferramentas e fluidos de corte, bem como, melhorar as condições de trabalho. Segundo Gil (1991) o estudo de caso permite um profundo estudo de um ou poucos objetos permitindo seu amplo e detalhado conhecimento.

Como o trabalho realizou-se de forma experimental, também, delimitou-se um objeto de estudo que foram os fluidos de corte e seus impactos no processo de usinagem, adquirindo assim, variáveis que foram capazes de influenciar as formas de melhorar seu desempenho (SILVA E MENEZES, 2002).

4 UNIDADE DE ANÁLISE

A unidade de análise desta pesquisa realizou-se no laboratório de usinagem do IFSC Campus Xanxerê, utilizou-se um centro de usinagem Romi D 600 para a realização dos experimentos. A tabela e a figura 01 demonstram as especificações da máquina e suas capacidades de operação.

Figura 3 Centro de usinagem CNC Romi D600 do IFSC campus Xanxerê.



Fonte: Do autor (2022)

Tabela 1 Especificações técnicas do centro de usinagem ROMI D600

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS		Linha ROMI D
Cabeçote Vertical		
Cone do eixo-árvore	ISO	40
Faixa de velocidades	rpm	7 a 7.500
Avanço		
Avanço rápido (eixos X / Y)	m/min	30
Cursos		
Curso da mesa superior (eixo X)	mm	600
Curso da mesa inferior (eixo Y)	mm	530
Mesa		
Superfície da mesa	mm	840 x 500
Peso admissível (uniformemente distribuído)	Kg	800
Trocador Automático De Ferramentas		
Capacidade de ferramentas	un	20
Diâmetro máximo da ferramenta	mm	80
Comprimento máximo da ferramenta	mm	254
Mandril da ferramenta	tipo	BT / CAT / DIN
Peso máximo da ferramenta	Kg	6
Potência instalada		
Motor principal ca	cv/kW	20/15 (regime 15 min)
Potência total instalada	kVA	30
CNC		
Modelo		GE Fanuc 0i-MC

Fonte: Adaptado de (ROMI, catálogo 2013)

O Ensaio experimental teve por objetivo a usinagem de quatro chapas de SAE 1020 nas dimensões de 100mm X 100mm X 50mm, estas chapas foram analisadas como A1, A2, A3 e A4 cada uma para um experimento cada teste realizado teve sua própria chapa no processo de faceamento da superfície. Cada teste teve duração de 20 minutos, o objetivo foi fazer a comparação dos fluidos de corte utilizados.

O cabeçote de fresamento que se utilizou um cabeçote de 32mm (BAP300R-32-150-C25-4T APMT 1135), como mostrado na figura 04 (b) com assento para quatro insertos (APMT1135PDER-PM GA4230), figura 04 (a), os parâmetros de corte para a usinagem podem ser visualizados na tabela 02.

Tabela 2 Experimentos e seus respectivos parâmetros de corte.

Experimentos	A1	A2	A3	A4
Fluido de corte	Ar	A seco	Fluido refrigerante	MQL
V_c			160m/min	
A_p			1 mm	
f			0,15 mm/z	

Fonte: Do autor (2022).

Estes parâmetros de corte foram iguais para os quatro experimentos com a utilização de um mesmo cabeçote, sendo que a única mudança será a troca dos insertos em cada novo teste e o fluido de corte.

Figura 4 Insertos e cabeçote a ser utilizado nos testes.



Fonte: Do autor (2022)

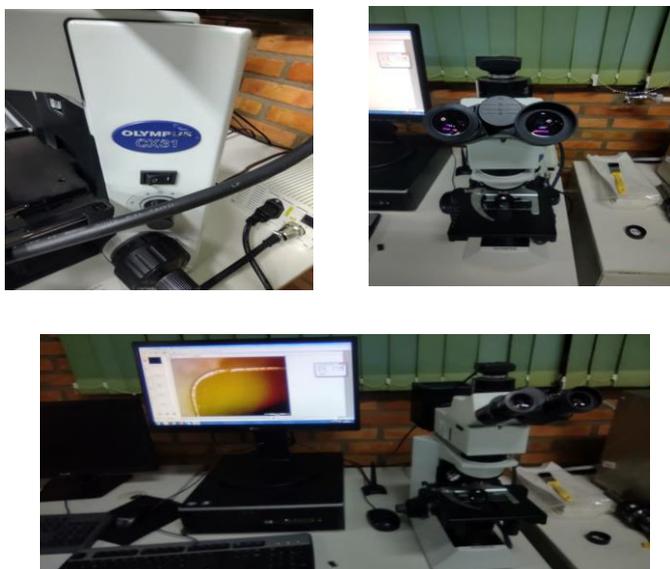
Neste experimento realizou-se a coleta de dados para a análise do desgaste da ferramenta, do consumo de energia elétrica e da rugosidade da peça depois de usinada. Os insertos foram analisados na condição nova e depois de cada experimento, visando à análise do desgaste que se deu com a usinagem em cada um dos quatro experimentos. Utilizou-se insertos novos para que a avaliação não sofresse qualquer alteração, primeiramente submeteu-se à análise os insertos da peça usinada com ar comprimido, ao final da usinagem os insertos foram limpos, colocados em um gabarito de baquelite para que os mesmos ficassem todos na mesma posição para não interferir na análise dos dados.

Após a limpeza e montagem do inserto no gabarito e posterior posicionamento no microscópio para a análise, foi possível realizar as comparações levando em conta o inserto novo com os usados para visualizar os desgastes ocasionados pela usinagem. Pode-se constatar que cada processo ocasionou micro trincas nos insertos de tamanhos e formatos diferentes dependendo do método de usinagem aplicado, e na sequência os insertos dos quatro experimentos passaram por análises para a identificação do desgaste em cada método utilizado.

Posteriormente estes dados foram analisados e descritos em forma de tabelas, nas quais constam o nível de desgaste da ferramenta, realizou-se as medições do desgaste dos insertos conforme a norma da ABNT 8688/ 2020 utilizando um

microscópio Olympus CX31 conforme figura 06.

Figura 5 Microscópio Olympus do IFSC campus Xanxerê.



Fonte: Do autor (2022)

O acabamento ou qualidade superficial da peça demonstrou-se importante para realizar comparação entre os testes, uma vez que visou avaliar a capacidade de refrigeração e o desgaste da ferramenta. Por este motivo, utilizou-se um rugosímetro TESA - Rugosurf 20 para a medição do acabamento superficial das peças usinadas conforme imagem da figura 07.

Figura 6 TESA - Rugosurf 20 do IFSC campus Xanxerê.



Fonte: Do autor (2022)

O equipamento utilizado segue a norma ISO 3274 para medição da rugosidade superficial. Algumas informações técnicas do aparelho encontram-se disponíveis na tabela 03.

Tabela 3 Especificações técnicas do TESA - Rugosurf 20.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	TESA - Rugosurf 20	
Força de medição	mN	0,75
Erro máximo permitido	-	Classe 1 – ISO 3274
Resolução	μm	0,001
Material da ponteira	-	Diamante
Raio de ponta	μm	2
Ângulo de ponta	-	90°
Faixa de medição em Z	μm	400
Faixa de medição em X	mm	16
Comprimento de cut-off	mm	0,25 - 0,80 – 2,50
Número de cut-offs	- -	1 – 5

Fonte: Adaptado de (TESA SARL,2019)

Para o monitoramento da energia consumida pelo equipamento utilizou-se um wattímetro digital ICEL de alicate modelo AW-4700 aplicado à alimentação do motor. Com o objetivo de verificar a potência ativa utilizada pelo equipamento em cada operação de usinagem, ou consumo de energia que se utilizou para a usinagem.

Figura 7 Alicate Wattímetro Digital ICEL AW-4700.



Fonte: Do autor (2022)

A tabela 04 apresenta algumas especificações técnicas do equipamento que foi utilizado na coleta de dados do consumo de energia durante o processo de usinagem.

Tabela 4 Especificações técnicas do Alicate Wattímetro Digital ICEL AW-4700.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS		Alicate Wattímetro Digital ICEL AW-4700	
Potência ativa			
Faixas de medição	kW	0,60 - 600	
Exatidão	-	+/- (3,0%+5 dig.)	
Resolução	kW	0,01; 0,1	
Faixa de corrente para medida	A	40 - 1000	
Faixa de tensão para medida	V	100 - 600	

Fonte: Adaptado de (ICEL 2020).

Os fluidos de corte foram mensurados pela quantidade consumida durante os experimentos, o fluido a seco teve o controle de sua vazão através de uma válvula reguladora de pressão com pressão constante de 5 bar, o fluido a base de óleo teve sua vazão medida por uma válvula de fluxo e calculado seu consumo pela vazão e tempo de utilização, e o MQL por uma válvula controladora do fluxo de vazão regulada em 5 bar e o fluido foi medido pela quantidade gasta em (l/min).

Os experimentos com os fluidos lubri-refrigerantes seguiram todos os mesmos parâmetros de injeção e distância da peça/ferramenta fixados a um ângulo de 45 graus e a uma distância de 80 milímetros da ferramenta para que todos atendessem as mesmas condições de refrigeração. Na figura 09 podemos observar o dispositivo do sistema de lubrificação MQL.



Figura 8 Sistema de lubrificação MQL

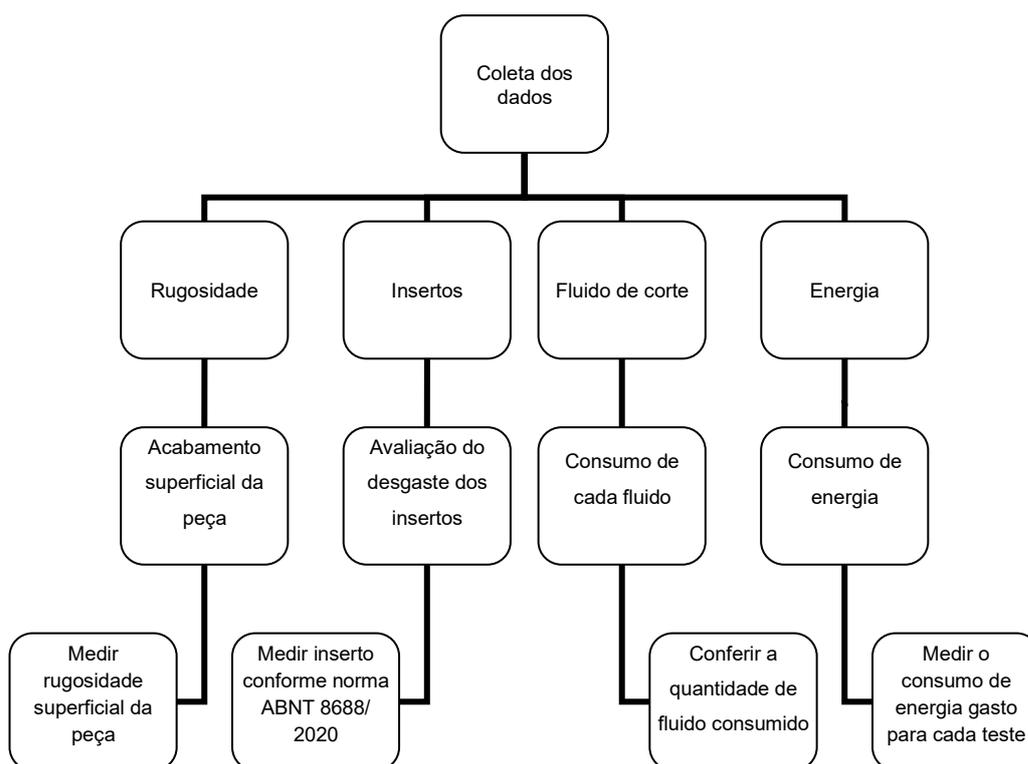
Fonte: Do autor (2022)

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 COLETA DE DADOS

A coleta de dados realizou-se por meio de observação e análise dos dados coletados nos experimentos. A Figura 09 demonstra o fluxograma de como realizou-se a coleta dos dados.

Figura 9 Fluxograma da coleta de dados



Fonte: Do autor (2022).

As observações foram empregadas na condução dos experimentos de usinagem nas quais foi possível avaliar a sequência correta dos processos. A partir de então, foi possível compreender o comportamento de cada fluido nos respectivos testes.

Foi utilizada a norma da ABNT 8688/2020 para a avaliação do desgaste dos insertos, através da sua medição, que conforme a norma, um microscópio foi utilizado, onde os insertos foram comparados antes do início dos testes em um suporte próprio para a leitura das medidas e ao final, os insertos foram colocados no suporte para realizar as novas medições e, posteriormente a avaliação dos resultados obtidos.

Após a usinagem das peças, foi possível avaliar a medida de rugosidade superficial, motivo pelo qual foi utilizado um rugosímetro TESA-Rugosurf 20 que possibilitou a medição da rugosidade média (Ra). As peças foram apoiadas em um desempenho de mármore com uma superfície polida apropriada para estas medições, já o rugosímetro também se apoiou sobre o mármore para a realização das medições.

Para a análise do consumo de energia durante o processo de usinagem utilizou-se um wattímetro digital ICEL de alicate modelo AW-4700 aplicado à alimentação do motor. O processo teve por objetivo verificar a potência ativa utilizada pelo equipamento nas operações de usinagem, possibilitando com isso verificar o consumo de energia.

A avaliação dos fluidos de corte ocorreu por meio da medição do consumo total do fluido utilizado em cada teste. Este procedimento cronometrou-se para obter o tempo de vazão, na sequência através da quantidade de líquido refrigerante acumulado no reservatório mediu-se o tempo que levou para atingir a quantidade de fluido e, a partir desse dado, calculou-se a vazão volumétrica por meio da fórmula exemplificada abaixo para saber o consumo de fluido.

$$Q = \frac{V}{t} \quad 1$$

Onde o Q é a vazão que se mede em (m³/h) metros cúbicos por hora o V é o volume em (L/S) litros por hora e o T é o tempo em (s) segundos, o fluido seco foi regulado a vazão através de uma válvula controladora de vazão, porém, não foi necessário mensurar a quantidade de ar utilizado, uma vez que, não será avaliado a quantidade de ar comprimido consumido, mas, o quanto este reflete no desgaste dos insertos. O sistema MQL também se avaliou pela vazão de fluido consumido pela fórmula 1.

A partir dos testes realizados e com os dados coletados possibilitou-se a avaliação dos três processos no que se refere através de um cruzamento de dados e fórmulas estatísticas para a comprovação dos mesmos.

5.2 PRINCIPAIS RESULTADOS

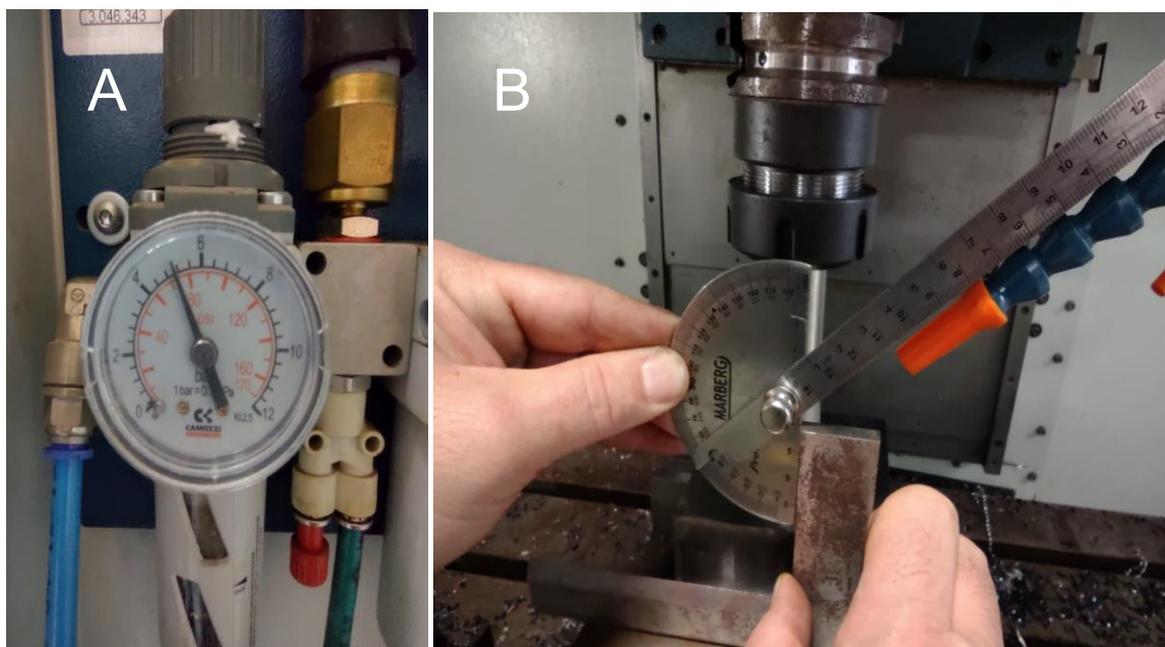
Este capítulo destinou-se à apresentação dos resultados obtidos por meio dos experimentos. A partir destes, buscou-se analisar e comparar através de ensaios e medições o desgaste dos insertos na usinagem do aço SAE 1020 nos

quatro processos de usinagem pelas quais foram submetidos. Na sequência apresentou-se os subcapítulos, nestes, foram apresentados os resultados obtidos por meio de tabelas e gráficos para demonstrar os resultados do consumo de fluido de corte, do consumo energético, da superficial, e, por fim, o desgaste da ferramenta utilizada no processo.

5.2.1 CONSUMO FLUIDOS DE CORTE

Foram realizados 4 experimentos de usinagem, três deles, com fluido de corte e, um deles sem a presença de fluido (a seco). No primeiro experimento, o processo de refrigeração como citado anteriormente, foi por meio de ar comprimido injetado na peça em um ângulo de 45 graus a uma distância de 80 milímetros entre a peça e o bico da mangueira da própria máquina, com pressão constante de 5 bar durante todo o processo de usinagem da peça. Na figura 11a está demonstrado a regulagem da mangueira de ar e na figura 11b o lubrificador com a pressão utilizada.

Figura 10 Lubrificador e ângulo do bico injetor de fluido



Fonte: Do autor (2022)

A usinagem do segundo experimento procedeu-se com o uso de lubrificante, seguindo os mesmos passos do processo anterior, sendo que este, acompanha o próprio sistema de refrigeração da máquina que possui um reservatório de 200 litros. A injeção do fluido ocorreu pelo próprio sistema de refrigeração da máquina, o bico injetor da mangueira tem uma capacidade de vazão de 960 litros por hora.

Para mensurar a vazão, mediu-se a quantidade de fluido que a máquina injetava em um minuto e, a partir do cálculo da fórmula de vazão, chegou-se a este volume. O fluido utilizado no processo circula em um sistema fechado resfriando a peça e retornado para o tanque. Na figura 12 torna-se possível observar este processo de refrigeração.

Figura 11 Refrigeração por meio de fluido refrigerante



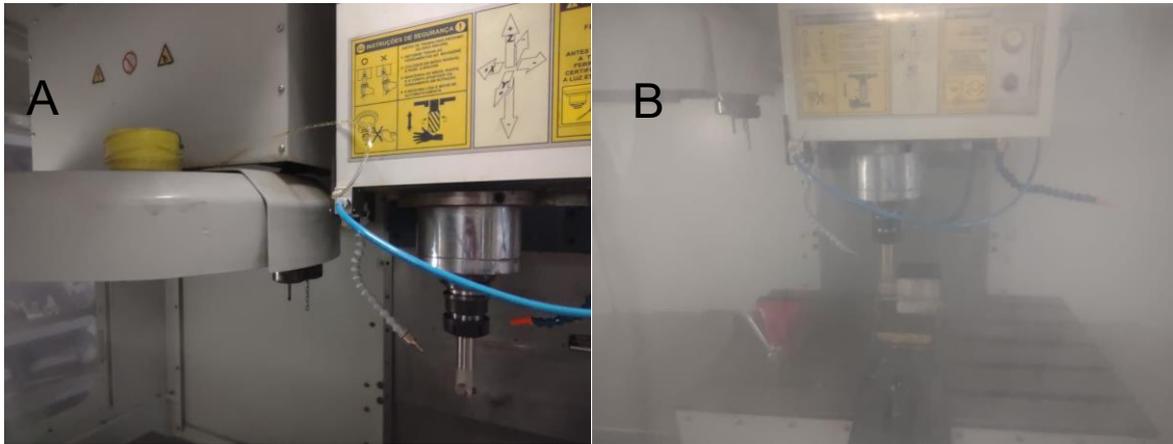
Fonte: Do autor (2022)

Na realização do terceiro experimento adaptou-se a máquina para conseguir desenvolver o sistema MQL, este, consiste na utilização de ar comprimido e lubrificante ao mesmo tempo, porém, o uso do lubrificante foi liberado em pequenas quantidades para formar uma névoa que misturada com o ar fez o resfriamento da peça/ferramenta. No sistema MQL foram utilizados os mesmos parâmetros dos processos anteriores (bico injetor a 45 graus com distância de 80 mm da peça/ferramenta com o ar comprimido a 5 bar de pressão). Porém, o fluido foi o mesmo do processo de lubri-refrigeração do segundo experimento, sendo que, a diferença no processo está em usinar a peça com fluido puro sem adição de água.

Conforme observado na literatura a vazão pode variar de 10 a 500 ml/h, no experimento MQL o processo de vazão regulou-se a 180ml/h, uma vez que o sistema utilizado não dispõe de menor regulagem. Porém, o consumo de fluido poderia ser menor se o processo fosse realizado com uma vazão menor que 180 ml/h, uma vez que se verificou o excesso de óleo durante o processo. Na figura 13a pode-se notar a

montagem do sistema MQL e na figura 13b visualiza-se a névoa gerada pelo sistema.

Figura 12 Sistema MQL



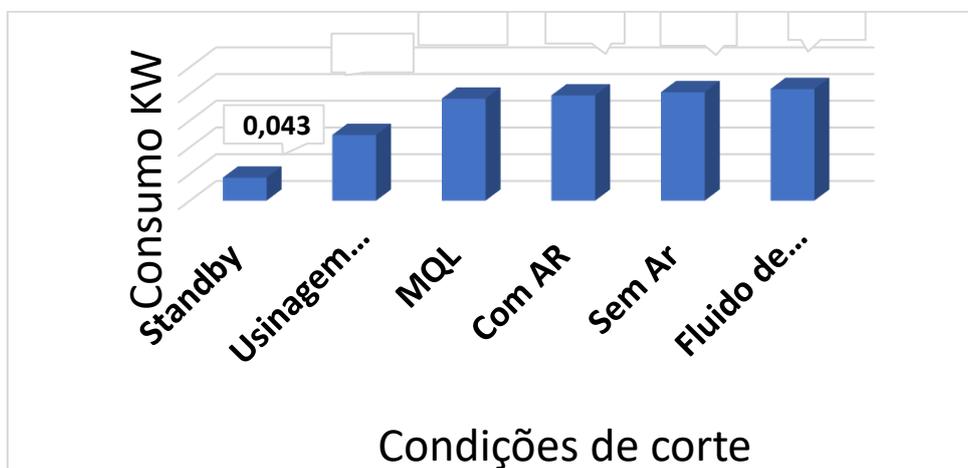
Fonte: Do autor (2022)

Para o último teste, o processo de usinagem realizou-se sem nenhum tipo de fluido refrigerante na peça/ferramenta que também se analisou e comparou com os processos anteriores.

5.3. Consumo energético

A partir da usinagem das peças pode se medir o consumo de energia em cada processo, deixando assim evidente que cada fluido de corte tem um consumo de energia específico, e que ocorre devido ao atrito que pode causar entre a superfície a ser usinada com o inserto, e isso vai depender da técnica de refrigeração adotada. A seguir, na figura 13 os resultados do consumo energético em cada experimento realizado.

Figura 13 Consumo de energia



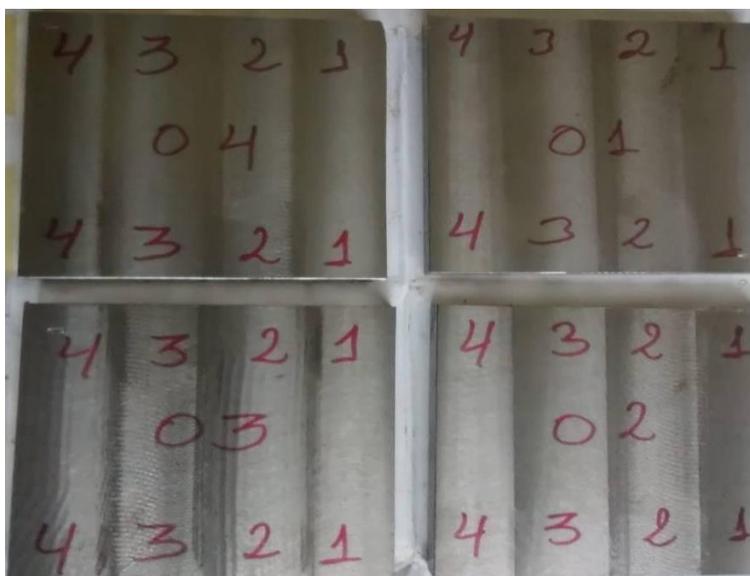
Fonte: Do autor (2022)

A partir da análise do gráfico, foi possível ponderar que o consumo de energia não sofreu grandes alterações de um experimento para outro, em relação aos quatro experimentos e ainda com as medições de energia da máquina em *stand bay* e usinando no vazio, conseqüentemente sem atrito entre a peça e a ferramenta.

5.4 Rugosidade

Nas medições de rugosidade foi levada em conta somente a rugosidade média (Ra), as medidas foram efetuadas em todas as peças após sua usinagem realizadas em oito pontos distintos como podemos ver na figura 14.

Figura 14 Disposição das peças e medidas da rugosidade



Fonte: Do autor (2022).

A seguir, na tabela 04 será demonstrado os resultados das medições feitas com o rugosímetro.

Tabela 4 Medidas de rugosidade dos experimentos.

Peças usinadas	Peça 01 (ar)	Peça 02 (a seco)	Peça 03 (f-refrigerante)	Peça 04 (M Q L)	Unidade de medidas
Ponto 1	1.689	2.449	1.815	1.824	(Ra μm)
	1.824	2.535	1.881	3.211	
Ponto 2	1.721	2.000	1.391	2.049	(Ra μm)
	1.936	1.963	1.557	2.291	
Ponto 3	1.756	2.833	2.016	2.368	(Ra μm)

	1.679	2.385	2.194	2.381	
Ponto 4	2.104	2.426	1.204	2.551	(Ra μm)
	2.203	2.424	1.108	2.323	
Média	1.864	2.376	1.645	2.374	
Desvio padrão	0.065	0.263	0.367	0.379	

Fonte: Do autor (2022)

Analisando os valores obtidos na tabela acima verificou-se que os menores valores de rugosidade média foram na peça que se utilizou fluido refrigerante, em seguida a peça que se utilizou ar comprimido, ademais, obteve-se resultados bem semelhantes nos processos de usinagem MQL e a seco.

Ao levar em consideração o acabamento das peças usinadas, observa-se que apresentou vibrações no processo de usinagem porque o cabeçote utilizado foi mais longo que o recomendado, sendo que o suporte da máquina não comportava o comprimento do mesmo e, além disso, a fixação da peça na morsa ficou com pouca área de aperto, ocasionando alguma vibração na usinagem. Na figura 15 podemos verificar a fixação da peça e também.

Figura 15 Fixação da ferramenta e da peça



Fonte: Do autor (2022)

5.5 DESGASTE DOS INSERTOS

Após concluída as etapas anteriores, foi analisado o desgaste dos insertos para saber qual foi o comportamento dos fluidos no desgaste da ferramenta. Na figura 16 demonstrou-se como a comparação foi alcançada.

Figura 16 Gabarito para a fixação dos insertos e microscópio



Fonte: Do autor (2022)

A figura 17 mostra a imagem da ponta do inserto novo com um aumento de 40 vezes, o qual foi utilizado para parâmetro nas comparações dos experimentos.

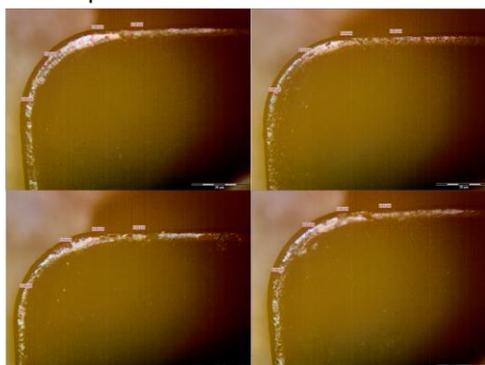
Figura 17 Inserto novo (aumento de 40 vezes)



Fonte: Do autor (2022)

A figura 18 mostra os insertos de usinagem com ar comprimido e as micro trincas ocasionadas em cada inserto.

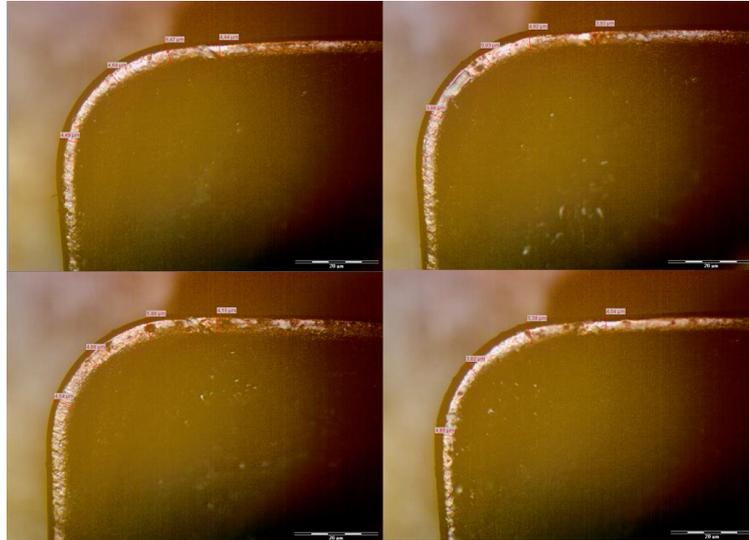
Figura 18 Insertos após usinagem a ar comprimido



Fonte: Do autor (2022)

Na figura 19 podemos ver os insertos do experimento com a utilização de fluido de corte.

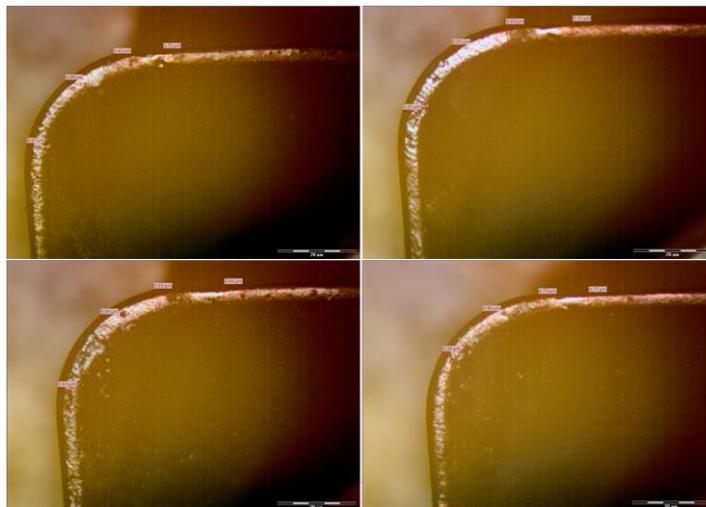
Figura 19 Insertos após uso de fluido refrigerante



Fonte: Do autor (2022)

Na figura 20 vê-se os insertos no experimento com a utilização do sistema de refrigeração MQL.

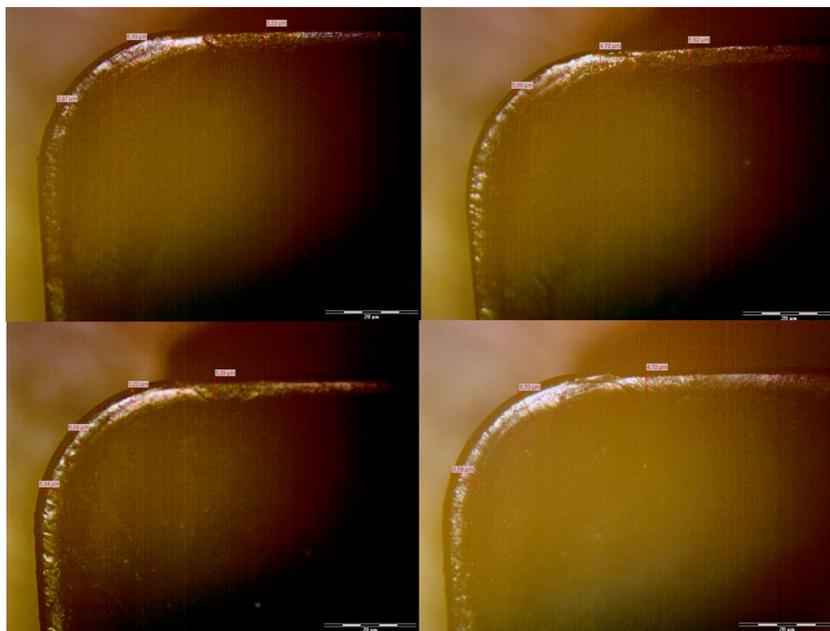
Figura 21 Insertos após uso do MQL



Fonte: Do autor (2022)

E na figura 21 observa-se os insertos que foram utilizados na usinagem a seco.

Figura 21 Insertos a seco



Fonte: Do autor (2022)

6.0 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo é destinado para abordar os resultados e análises dos experimentos realizados neste trabalho, a primeira análise é a dos fluidos refrigerantes que foram utilizados em três peças, sendo que uma foi a seco.

6.1 ANÁLISE DA REFRIGERAÇÃO

O primeiro sistema de refrigeração avaliado foi por meio de ar comprimido, este sistema de refrigeração visou resfriar a ferramenta, bem como, a remoção dos cavacos que se acumulam na peça devido a retirada de material durante a usinagem. O inconveniente para este sistema é que se precisa de uma fonte externa para a geração do ar comprimido, haja visto que a máquina não possui um compressor de ar, motivo pelo qual acarreta maior consumo de energia, investimento extra na compra e manutenção. Outro fator observado foi a poluição sonora causada pelo compressor e pelo ar comprimido que é injetado na peça/ferramenta.

O segundo experimento realizou-se com fluido-refrigerante, utilizando o próprio fluido que a máquina possuía. O objetivo deste fluido também é de refrigerar

a peça/ferramenta e a eliminação dos cavacos do processo de usinagem. No decorrer do processo de usinagem observou-se desperdícios do fluido, onde a evaporação acontece no contato da ferramenta com a peça, a qual está aquecida devido ao atrito dos insertos com o material. Outro fator de perda de fluido é que nem todo o líquido retorna ao tanque no final da usinagem, essas perdas, no entanto, são de difícil mensuração, uma vez que cada processo e tempo são diferentes, sendo assim, essas perdas não serão consideradas. Conforme o primeiro experimento, este processo também apresenta alguns inconvenientes, o contato do fluido com a pele do operador pode causar dermatites e doenças de pele, além disso, acarreta um aumento no consumo de energia elétrica, uma vez que para que ocorra a injeção do fluido ela precisa de uma bomba para a sucção do tanque que serve para a refrigeração da máquina.

O terceiro experimento realizou-se com o sistema MQL no qual injetou-se óleo puro com ar comprimido junto. Com os resultados obtidos foi possível fazer uma comparação com os dados anteriores, assim, pode-se dizer que este experimento também precisa de uma fonte de energia externa que é o uso do compressor de ar para que ocorra a usinagem, portanto, aumenta o consumo de energia e também, como descrito anteriormente, a vazão poderia ser menor do que a utilizada, nestes parâmetros não se percebeu ganho significativo no experimento.

Por fim, o último experimento realizou-se sem qualquer tipo de refrigeração, com isso, conseguimos identificar de imediato que o aquecimento da ferramenta e a peça usinada foi superior aos demais processos. Ao finalizar o processo de usinagem, se percebeu um aquecimento na peça e na ferramenta que não se constatou nos demais experimentos, além disso, havia um excesso de cavacos acumulados em cima da peça que certamente acarreta prejuízo uma vez que estes, podem causar a quebra dos insertos da ferramenta.

Conforme resultados obtidos, Zeilmann (2009), corrobora que a utilização da técnica MQL é ecologicamente a mais adequada e oferece baixos riscos à saúde dos operadores, desde que os aspectos relativos à coleta de resíduos sejam considerados, diante das preocupações ambientais provocadas pela utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem.

6.2 ANÁLISE DO CONSUMO ENERGÉTICO

Analisando a figura 14 pode-se dizer que o consumo energético foi relativamente semelhante nos quatro processos, portanto, o consumo de energia não foi significativo na realização dos experimentos. É possível observar que o processo em que foi utilizado ar comprimido e o sistema MQL apresentaram valores menores, porém, levando em conta que se possui uma fonte extra de energia (o compressor de ar comprimido) fica irrelevante estes valores menores. Por outro lado, o experimento sem a utilização de fluido, devido ao próprio atrito da ferramenta com a peça e os cavacos ocasionam um maior aquecimento e conseqüentemente um aumento no consumo de energia, mas ainda assim dentro da faixa dos outros experimentos.

Segundo estudos de (Vieira, 1997) o consumo de energia no fresamento de aço NB 8640, também não teve grandes variações no processo de usinagem, sendo que para ele os menores valores se deram na usinagem a seco.

6.3 ANÁLISE DA RUGOSIDADE

Para a análise da rugosidade levou-se em conta só a rugosidade média (R_a), e, esta, foi medida nas peças após sua usinagem, destaca-se também que nos experimentos não se realizou passes de acabamento e sim passes de faceamento nos parâmetros pré-estabelecidos, com isso, a rugosidade a ser comparada é a rugosidade de desbaste, na tabela 05 é possível fazer uma comparação com a tabela 04, a faixa de rugosidade ficou entre N7 e N8 ficando assim dentro da norma para desbaste.

Tabela 6 Graus de rugosidade:

N-Grade	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
R_a - μm	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50
R_a - μinch	1	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000	2000
R_z (R_x) - μm		0,25	0,5	1	2	4	8	16	32			
Símbolo ISO												
Antigo Símbolo												
Acabamento		Super Polim.		Polimento Final			Polimento intensivo		Pré-Polimento		Pré-maquinado	

Assim, ao analisar a tabela 04 observa-se os pontos que mais se destacaram, foram as médias que apresentaram os menores valores no experimento a ar comprimido e o menor valor médio de rugosidade se deu com a utilização de fluido de corte, mas o desvio padrão dos valores menores foram na usinagem a seco e o menor

que ficou bem abaixo dos demais foi com ar comprimido, este apresentou as menores variações de medidas, sendo que foram feitas oito medições em cada peça como mostra a figura 15. Conclui-se que a rugosidade com melhores resultados foi obtida na usinagem com refrigeração a ar comprimido.

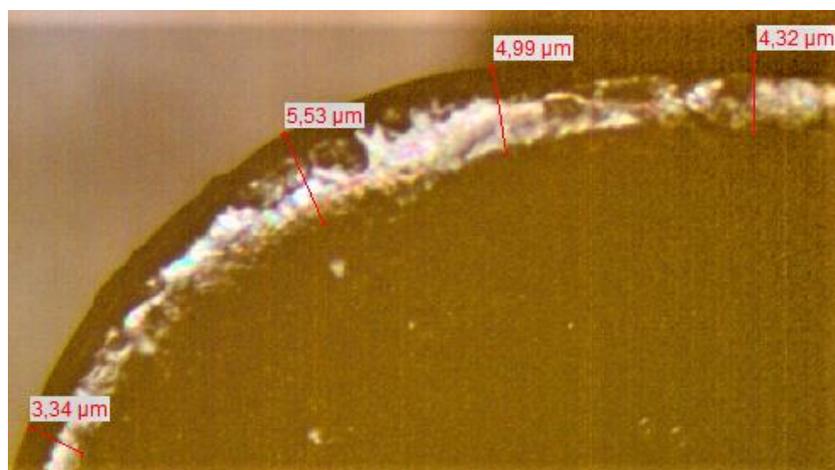
Para (Toledo 2020) seus resultados sobre a rugosidade no aço SAE 1020 tiveram variações maiores, sendo que dois experimentos ficaram com rugosidades próximas e dois com uma variação maior em seus experimentos. Ainda, conforme (MACHADO, 2009 e GROOVER, 2014) a diferença de acabamento conseguido em cada condição de usinagem pode proporcionar variações significativas nos valores obtidos, por possuir um grande número de variáveis que se deve considerar.

6.4 ANÁLISE DO DESGASTE DOS INSERTOS

Depois de todas as outras análises de energia, fluido e rugosidade, para finalizar as análises dos experimentos, analisou-se qual foi o impacto gerado nos insertos pela usinagem dos blocos em cada processo. Para isso utilizou-se um inserto novo como referência, este, pode ser visto na figura 18.

A primeira análise realizada foi a usinagem com ar comprimido. Na figura 22 podemos observar as micro trincas causadas no processo, e suas medidas da área afetada pela usinagem estão em microns, analisou-se o pior caso dos quatro insertos onde nota-se que ocorreu várias micro trincas na ponta do inserto que causou pequenas crateras na ponta dos mesmos.

Figura 22 inserto após usinagem com ar comprimido

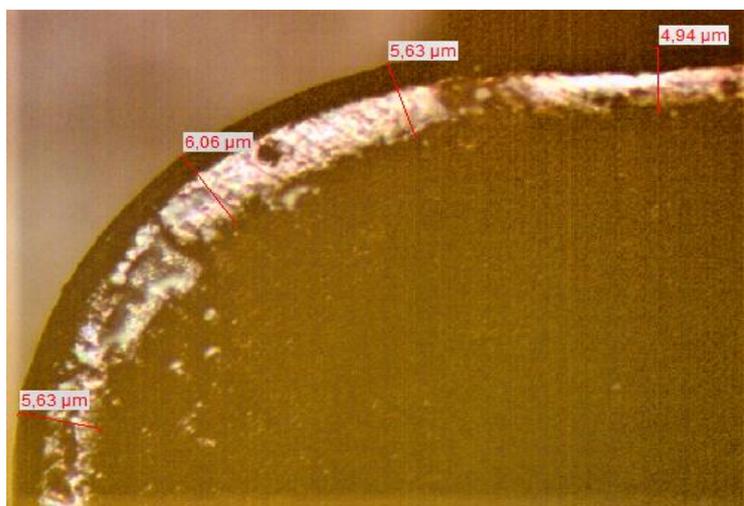


Fonte: Do autor (2022)

No segundo experimento utilizou-se fluido de corte para refrigerar a

peça/ferramenta e na figura 23 observa-se que também ocorreu micro trincas no inserto analisado, apesar das medidas da área afetada ser um pouco maior, as micro trincas e crateras neste caso são bem menores que no experimento com ar comprimido.

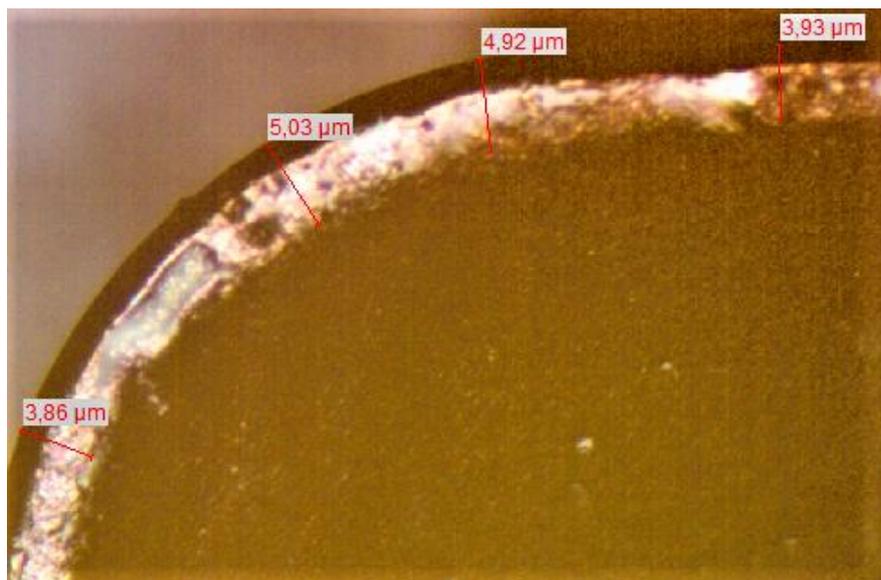
Figura 23 inserto após uso com refrigeração por fluido de corte



Fonte: Do autor (2022).

O terceiro experimento realizou-se com o sistema de refrigeração MQL, como nos anteriores analisou-se o inserto que apresentou o maior desgaste, na figura 24 é possível observar que, como nos processos anteriores, também vê-se micro trincas e crateras, mas analisando os dois experimentos já citados com este é o que apresentou as menores deformações e micro trincas ficando visível que em relação aos outros dois experimentos, este é o que teve o menor desgaste nos seus insertos, lembrando que foi analisado o que apresentou a maior deformação. Na figura 25 pode-se ver claramente estas considerações.

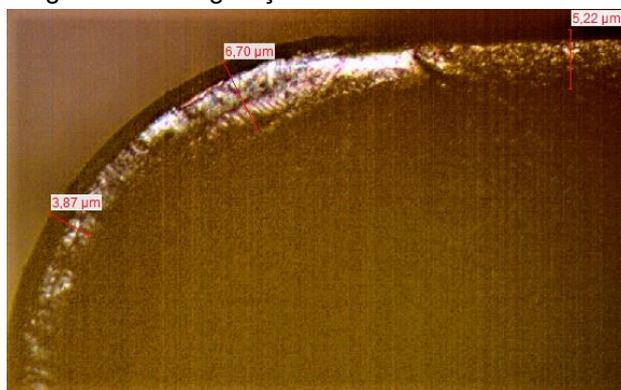
Figura 24 inserto após uso com refrigeração por MQL



Fonte: Do autor (2022).

E por fim, foi analisado a usinagem da peça sem fluido para comparar com os demais fluidos e observar quais as consequências da usinagem sem refrigeração, na figura 25 fica evidente que neste processo o inserto já apresenta trincas que comprometeram sua estrutura, deixando um alerta de que não é uma alternativa viável.

Figura 25 inserto após usinagem sem refrigeração



Fonte: Do autor (2022).

Analisou-se os quatro experimentos e constatou-se que os insertos que tiveram refrigeração por meio de fluido refrigerante ou MQL apresentaram os melhores resultados quanto ao seu desgaste. Já para Toledo (2020) nos seus estudos sobre o desgaste dos insertos na região principal de corte, houve o mesmo tipo de desgaste tanto com a utilização de fluidos como sem utilização de fluido de corte. Com isso conclui-se que os processos a serem adotados e o tipo de ferramentas vão proporcionar variações no desgaste dos insertos.

7. CONCLUSÃO.

A partir das análises realizadas, conclui-se que os objetivos foram alcançados. Avaliou-se que a lubrificação se torna eficaz na usinagem do aço SAE 1020, uma vez que se evidenciou um bom rendimento e acabamento da peça usinada, ou seja, a lubri-refrigeração se faz importante independente de qual será o método utilizado. Dependendo do objetivo a ser alcançado, escolhe-se o método que venha a atender com eficácia o processo de usinagem, sem contar que a partir da melhor escolha, serão possíveis obter melhores rendimentos, acabamentos e, por consequência, será mais rentável financeiramente.

No que diz respeito ao método MQL, chegou-se à conclusão de que será necessário desenvolver mais estudos sobre o processo para que seja possível obter parâmetros mais confiáveis. Para este experimento, conforme o sistema utilizado, os dados obtidos foram bem imprecisos, pois o sistema não possuía as características que fossem adequadas para uma boa avaliação da quantidade correta de fluido a ser utilizado.

Referente ao consumo energético, pode-se observar que não houve grandes variações, porém, se todos os meios que geraram consumo energético pudessem ser mensurados seria possível ter feito uma análise dos dados melhor e, a partir desses, obter uma avaliação com maior confiabilidade, sem contar a falta de um aparelho capaz de captar todas as variações de energia.

A rugosidade foi um dos fatores que mais pode-se medir com exatidão, sendo que na condição de usinagem de desbaste todos os experimentos ficaram dentro das medidas da norma e pode-se avaliar o desvio padrão e a média com uma boa exatidão, sendo que foi obtido bons resultados de acabamento nos experimentos.

Quanto ao desgaste dos insertos também pode-se fazer uma boa avaliação por meio do microscópio comparando-se os insertos dos experimentos com o padrão do inserto novo e assim medir o desgaste ocorrido por micro trincas e fissuras causadas pela usinagem do material, assim cada processo teve suas avaliações e os resultados que ficaram bem evidentes as diferenças entre os tipos de lubri-refrigerantes.

- O uso de fluido refrigerante ou MQL apresentaram um menor desgaste dos insertos.
- O melhor resultado de acabamento foi alcançado com a utilização de ar comprimido.
- O consumo energético não teve variações significativas.

Desta forma, pode se dizer que dependendo do resultado que se deseja atingir poderá ter uma variação no método de refrigeração a ser utilizado, sendo que o processo tem uma grande variedade de parâmetros e métodos a seguir.

9 RECOMENDAÇÕES FINAIS:

- Um novo experimento com variações dos parâmetros de usinagem.
- Conduzir os mesmos testes com um material com maior teor de carbono.
- Fazer uma análise mais aprofundada no consumo energético
- Conduzir experimentos com o sistema MQL com maior precisão na sua vazão.
- Avaliação da rugosidade também no acabamento para avaliar se o desvio padrão se mantém entre acabamento e desbaste.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, O. L.; RODRIGUES, A. C.; LIRANI, J. **Tolerâncias, Ajustes, Desvios e Análises de Dimensões**, 1ª ed., São Paulo: Edgar Blücher, 1977, 295 p.

BRAGAGNOLO, Rodrigo Pires. **DESENVOLVIMENTO DE UMA FRESADORA DIDÁTICA DE COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO DE PEQUENO PORTE**. 2018. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, S Panambi, 2018.

BRITO, Tarcísio Gonçalves de. **OTIMIZAÇÃO DO FRESAMENTO DE TOPO DO AÇO ABNT 1045 UTILIZANDO PROJETO DE PARÂMETRO ROBUSTO**. 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá Instituto de Engenharia Mecânica Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Itajubá, 2012.

CAPELLI, Alexandre. **Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2008. 236 p., il.

CASSANIGA JUNIOR, Osvaldo. **Uma ferramenta interativa para avaliação dos aspectos tecnológicos de ambiente e-learning**. Trabalho de conclusão de curso em bacharelado em ciência da computação. Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2005.

CENI NETO, Sabino. **Idealização e execução de uma fresadora CNC com três eixos de baixo custo**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DE OLIVEIRA, Laira et al. **MÁQUINAS ANTIGAS: O USO DO MARTERLO COM CAME DE LEONARDO DA VINCI COMO FERRAMENTA DE ENSINO DE TRANSMISSÃO**.

DINIZ, A. E; MARCONDES, F. C; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 1.ed. São Paulo: MM editora,1999.

FARDIN, Everton Luís et al. **Avaliação dos tempos de pré-ajustagem de ferramentas em máquinas CNC: vantagens e ganhos possíveis com o uso de**

equipamentos de presetting. São Paulo Brasil: xxx Encontro Nacional de Engenharia de Produção , 2010.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais.** São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1970. 751 p.

FREITAS, Rafael de Souza. **TORNEAMENTO DO AÇO SAE 4340 COM DIFERENTES SISTEMAS DE LUBRIFRIGERAÇÃO (A SECO, JORRO E MÍNIMA QUANTIDADE DE LUBRIFICANTE):** 2017. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Automotiva, Faculdade Unb Gama - Fga, Brasília, Df, 2017.

GADELMAWLA, E.S; KOURA, M.M.; MAKSOUD, T.M.A.; ELEWA, I.M.; SOLIMAN, H.H. Roughness parameters. **Journal of Materials Processing Technology.** V.123, pp 133-145. 2002.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 1991.
GROOVER, M. P. Introdução aos Processos de Fabricação. 1.ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2014.

LIMA JÚNIOR, Josean da Silva. **Análise técnico-econômica de fluidos de corte a base de óleo vegetal e sintético em operações de usinagem do aço SAE 1045.** 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

MACHADO, Alisson Rocha. **Teoria da usinagem dos materiais.** 3 ed. São Paulo: Blucher, 2009. 409 p.

MACHLINE, Claude; RATTNER, Henrique; UDRY, Olivier. Máquinas-ferramenta de controle numérico: efeitos administrativos de sua introdução na indústria nacional. **Revista de Administração de Empresas,** v. 22, n. 2, p. 05-21, 1982.

NEUMANN, Alessandro Diego. **EFEITOS DA INFLUÊNCIA DOS FLUIDOS LUBRIFRIGERANTES SOBRE OS DESGASTES DAS FERRAMENTAS DE CORTE.** 2016. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2016.

MATJE, Luis Eduardo Baccarin. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE MÍNIMA QUANTIDADE DE LUBRIFICANTE NA FORÇA E NA RUGOSIDADE GERADOS PELO FRESAMENTO FRONTAL DA LIGA DE ALUMÍNIO AISI 7075-T6.** 2019. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

MUMMERY, L. **Surface texture analysis-The handbook.** Hommelwerke GmbH, 1992.
NEVES, T. E. S. B. **Investigação da influência da aplicação de óleos vegetais comestíveis como fluido de corte no processo de furação do aço ABNT 1045.** 2013. 209f. Tese (doutorado), Universidade Federal de Uberlândia – Programa de

Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Uberlândia, 2013.

PEREIRA, Jean Carlo Cescon. **Determinação de Modelos de Vida de Ferramenta e Rugosidade no Torneamento do Aço ABNT 52100 Endurecido Utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta (DOE)**. 2006. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.

SBARDELOTTO, Vinicius Ghellere. **PROJETO, FABRICAÇÃO E INTEGRAÇÃO DE EIXO ROTATIVO EM FRESADORA CNC CONTROLADA PELO LINUXCNC**. 2017. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina -, Florianópolis, 2017.

DA SILVA, Edna Lucia; MENEZES, Estera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. **UFSC, Florianópolis, 4a. edição**, v. 123, 2005.

.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte I**. 7. ed. Florianópolis: Ufsc, 2007. 249 p. (Didática).

TOLEDO, Samuel Lucas. **Análise da técnica de mínima quantidade de fluido no fresamento do aço 1020**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

VIEIRA, Jalon de Moraes. **INFLUÊNCIA DE FLUIDOS DE CORTE NO FRESAMENTO DO AÇO NB 8640**. 1997. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (Mg), 1997.

ZEILMANN, Rodrigo P. et al. Processos de usinagem e responsabilidade ambiental através da redução da utilização de fluidos de corte. **XVII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva**, p. 16-17, 2009.

Apêndice A – Programação do Centro de Usinagem CNC

00015 (Programa Experimentos);

G17 G21 G94;

T1 D1;

M6;

G54 S1600 M3;

G0 X0 Y0 Z100;

#1=0;

#2=1;

#3=33;

G1 G90 Z0 F960;

N5 #1 = #1 + #2;

G1 Z-#1;

Y25;

X130;

Y50;

X0;

Y75;

X130;

Y100;

X0;

G0 X0 Y0;

IF [#1 LT #3] GOTO5;

G0 Z200;

M30;