

ANÁLISE DE VIABILIDADE ENTRE ESTRATÉGIA DE CORTE COMUM E WAVE FORM NO FRESAMENTO DE CAVIDADES FECHADAS EM MOLDES DE ALUMÍNIO

Rodrigo Mateus Durante¹

Clauber Roberto Melo Marques²

Resumo: A indústria metalúrgica é classificada como indústria de bens de produção, a qual tem por finalidade transformar metais em peças. A usinagem é a operação mais importante para esta transformação, pois ela dará forma ao produto final, sendo este um dos processos de fabricação mais importante na atualidade. Em contrapartida é uma operação complexa, com alto custo e longos tempos de operação. Esta pesquisa teve como objetivo verificar a diferença entre estratégia de corte comum e wave form de cavidades fechadas em moldes de alumínio, visando verificar a qualidade do corte, aumentar a taxa de remoção do material e reduzir o tempo de usinagem. Para isto foram realizados testes em relação ao tempo total de usinagem, de rugosidade em ambos os métodos e de acabamento de forma visual. Os resultados demonstraram que a estratégia de corte Wave Form tem influência direta na diminuição do tempo da produção, neste caso alcançando significativos 79,29% em relação ao método comum.

Palavras-Chave: Alumínio. Fresamento. Usinagem. Estratégia de corte. Wave Form.

1 INTRODUÇÃO

O alumínio é um dos materiais metálicos mais utilizados no processamento da indústria metal mecânica. Este destaca-se por sua leveza, boa condutividade, resistência e usinabilidade. Grande parte dos objetos são fabricados a partir deste material, os quais, podem apresentar diferentes geometrias e dimensões, independente do processo de fabricação (GONÇALVES, 2012).

Dentre as diferentes fases que envolvem o processo de fabricação de materiais metálicos, destaca-se a usinagem. Nesta etapa ocorre a retirada de material excedente da peça por corte, sendo o fresamento a operação de corte mais influente na usinagem dos materiais (CRUZ; DANELUZ, 2019).

O setor metal mecânico apresenta uma grande quantidade de operações que influenciam no custo do processamento e conseqüentemente aumentam o custo

¹ Graduando em Engenharia de Mecatrônica. Ano 2021-2. E-mail: rodrigodurante@outlook.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: clauber.marques@satc.edu.br

do produto final. Com isto, as empresas estão aumentando a busca por tecnologias que visam o aumento da produção e forneçam produtos de qualidade em um menor espaço de tempo. Esta pesquisa justifica-se pelo fato de que a operação de usinagem é a fase que mais agrega valor no processo produtivo de um produto. Desta forma, a otimização destes processos se faz cada vez mais importante no dia a dia das indústrias como forma de redução dos tempos e custos de produção.

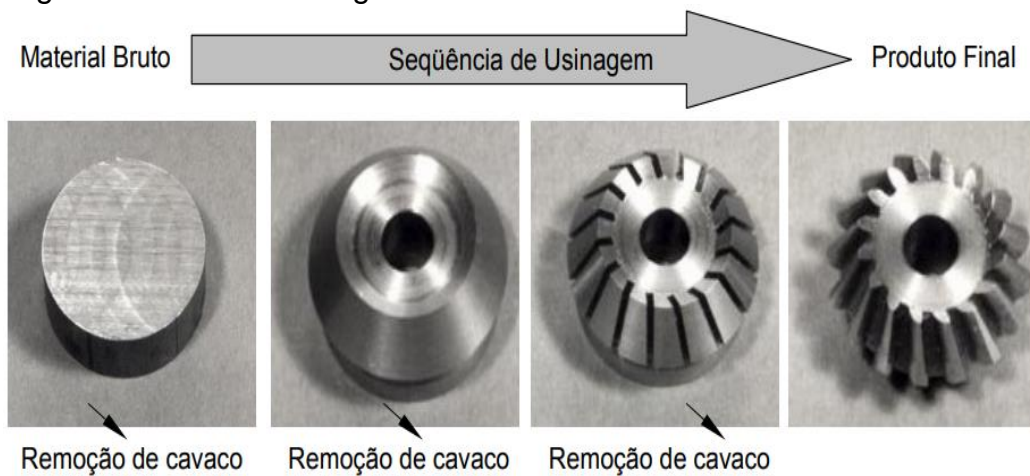
Contudo, este trabalho teve como objetivo geral avaliar a viabilidade entre o corte comum e wave form em um processo de fresamento de cavidades fechadas em moldes de alumínio, visando aumentar a taxa de remoção de material, diminuir o tempo de usinagem e conseqüentemente reduzir os custos de produção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 USINAGEM

A usinagem surgiu pela necessidade das indústrias em fabricar produtos em diferentes formatos, dimensões, contornos ou acabamento superficial. Neste processo, ocorre à transformação do produto através da retirada de uma parcela de material, denominado por cavaco. O cavaco pode ser proveniente de restos de aços, alumínios, ferro fundido ou inox, sendo estes os materiais mais utilizados no processo de usinagem. A “Fig. 1” apresenta o fluxo do processo de usinagem.

Figura 1: Fluxo da usinagem.



Fonte: Stoeterau (2017)

A remoção de cavacos pode ser realizada com alta velocidade por comandos computadorizados, que realizam a interação mecânica e a automatização dos componentes da máquina (FERREIRA, 2020).

A usinagem consiste em um processo de fabricação que retira o material na forma de cavaco da peça ou componente, através da ação da ferramenta de corte, definindo o formato final da peça. É o método de fabricação mais utilizado na indústria metal mecânica, devido à elevada qualidade superficial, geométrica e dimensional dos produtos finais desse processo (SILVA, 2020).

Existem diversas máquinas que realizam a usinagem de peças, as quais conseguem, usinar peças com menor ou maior grau de complexidade geométrica, dentre elas destacam-se as plainas, furadeiras, retificadoras, os tornos e as fresadoras (CRUZ; DANELUZ, 2019).

2.2 CENTRO DE USINAGEM – CNC

A sigla CNC significa *Computer Numeric Control* ou em português controle numérico computadorizado. É um controlador numérico que realiza o controle de máquinas, permitindo o controle simultâneo de vários eixos, através de uma lista de movimentos escritos num código específico. Este computador permite o armazenamento e a realização de leituras, análises e informações de programas que garante uma economia de tempo em produções de lotes de peças idênticas, uma vez que os dados estão armazenados não necessitam de uma nova leitura da programação (OLIVEIRA, 2015).

A máquina CNC trabalha basicamente em três etapas. Primeiramente o computador lê o programa e transforma para o código binário, sendo esta a linguagem da máquina. Após o operador dar início ao ciclo de trabalho, e o computador lê os códigos, transformando-os em pulsos elétricos que serão analisados pela controladora da máquina e enviados a uma unidade alimentadora. No final do processo a máquina recebe esse pulso e o transforma em movimento (OLIVEIRA, 2015).

2.3 FRESAMENTO

O fresamento é um processo mecânico utilizado para remover material da peça de modo intermitente pelo movimento de translação e rotação de ferramentas

multicortantes, a fim de obter variados formatos de peças. Sendo este um dos processos mais utilizado na indústria devido à alta taxa de remoção de material, qualidade, dimensional e elevada flexibilidade, além de proporcionar um bom acabamento superficial nas peças (SILVA, 2019).

O processo de fresamento pode ser dividido em fresamento circunferencial, frontal, de topo, entre outros, sendo o de topo o mais utilizado, pois a ferramenta possui gumes em sua periferia e na sua face, podendo realizar o corte nas duas arestas. Este processo é amplamente utilizado na obtenção de superfícies de formas livres, na execução de rebaixos, cavidades ou bolsões e contorno de perfis, tanto para situações de desbastes como para acabamentos em peças, sendo caracterizado pelo tipo de ferramenta a ser utilizada (DOBLER, 2014).

2.3.1 Ferramentas de cortes

As ferramentas utilizadas no processo de fresamento são denominadas por fresas, estas, executam o corte do material por serem construídas com arestas cortantes, dispostas simetricamente em torno de um eixo. Estas ferramentas existem em diferentes geometrias, tendo como exemplo as inteiriças “Fig. 2”, formadas por uma única peça e material, feitas de aço rápido ou metal duro (BUCKELL, 2019).

Figura 2: Fresa inteiriça.



Fonte: Do autor (2021)

Já as fresas intercambiáveis, são feitas de aço carbono, com insertos fixados em seu corpo conforme a “Fig. 3”. Como o próprio nome já diz, são intercambiáveis, então, ao desgastar podem ser trocadas.

Figura 3: Fresa intercambiável.



Fonte: Do autor (2021)

2.3.2 Metal duro

A obtenção do metal duro se dá através da sinterização de carboneto de materiais refratários com outros metais, que quando combinados formam um corpo de alta dureza e resistência à compressão. Em ferramentas de corte de precisão, as partículas duras são carbonetos de tungstênio, podendo haver outros carbonetos combinados, em um aglomerante que usualmente é o cobalto. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

Os metais duros apresentam vantagens como, elevada dureza, boa estrutura cristalina, resistência a compressão, resistência ao desgaste a quente, entre outras. Essas características são potencializadas com a adição de alguns elementos de liga que conferem a ferramenta um menor desgaste e maior durabilidade (BORGES, 2017).

2.4 PARÂMETROS DE CORTE

Os parâmetros de corte são grandezas numéricas que representam os valores de deslocamento da ferramenta ou da peça. Estes adequam-se ao tipo de usinagem, ao material a ser usinado e a ferramenta. Os parâmetros ajudam na execução da usinagem por meio da utilização racional dos recursos oferecidos por determinada máquina-ferramenta. Os principais parâmetros a serem considerados durante a usinagem são a velocidade do corte e o avanço (STOETERAU, 2017).

A Velocidade de corte é o espaço que a ferramenta percorre, cortando um material dentro de um determinado tempo, tendo relação direta com a vida útil da ferramenta e com a rugosidade do material usinado. Vários fatores influenciam na velocidade do corte sendo eles: o tipo de ferramenta, material a ser usinado, condições da máquina e o tipo de operação realizada (STOETERAU, 2017). Tal parâmetro pode ser calculado através da Eq. (1):

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

Onde:

V_c = Velocidade de corte (m/min).

n = Número de rotações por minuto da ferramenta ou da peça (RPM).

D = Diâmetro da peça ou da ferramenta (mm).

π = Constante da circunferência = 3,14.

No início da usinagem faz-se necessário o ajuste da rotação da máquina-ferramenta, que se dá em rpm (rotações por minuto), tendo como dado básico a velocidade de corte. A escolha da velocidade de corte correta é de extrema importância para a obtenção de bons resultados de usinagem, manutenção da vida útil da ferramenta e para o grau de acabamento superficial da peça (STOETERAU, 2017).

Após a determinação da velocidade de corte, deve-se compatibilizá-la com o avanço da ferramenta ou da peça. O avanço é considerado como sendo a velocidade de deslocamento de uma em relação à outra a cada rotação do eixo da máquina sendo este uma grandeza numérica expressa em mm/min, que está

diretamente ligada ao número de arestas da ferramenta utilizada (ALAMINI, 2020). Esses valores são tabelados, publicados em catálogos dos fabricantes das ferramentas, podendo ser calculado através da seguinte equação Eq. (2):

$$Vf = fz \cdot z \cdot n \quad (2)$$

Onde:

vf = Avanço da mesa (mm/min).

fz = Avanço por dente (mm/dente).

z = Número de dentes.

n = Rotação (min^{-1}).

2.5 ESTRATÉGIA DE CORTE

A definição da estratégia de corte em uma usinagem é de extrema importância, pois exerce influência qualitativa e financeira no processo de fabricação de peças usinadas. As estratégias de corte podem ser definidas como ascendente ou descendente quanto ao seu sentido, e serem classificadas quanto a sua direção, vertical ou horizontal em relação ao plano inclinado. A inclinação da peça e a direção de usinagem influenciam significativamente na qualidade superficial da usinagem (SOUZA, 2004).

Durante o processo de usinagem se faz necessário a avaliação das estratégias de corte para a trajetória da ferramenta durante a operação. As mudanças destas trajetórias influenciam na formação do cavaco, nas forças de corte, no desgaste da ferramenta, na integridade superficial e na precisão dimensional da geometria a ser usinada. Com o surgimento de novas tecnologias e o desenvolvimento dos softwares CAM, diferentes possibilidades de trajetórias de ferramenta, estão sendo implementadas, uma delas é o corte Wave Form, o qual será utilizado para desenvolvimento desta pesquisa (SOUZA, 2004).

O corte Wave Form é uma estratégia de desbaste fornecida através do software CAM, sendo uma tecnologia que possui altas velocidades, mantendo o esforço da ferramenta constante. Neste processo, a ferramenta entra em contato com a peça em forma de onda, onde o caminho da ferramenta é criado de forma suave e

proporciona uma velocidade constante em todo o material principalmente na ocorrência de cantos vivos e geometrias curvas na peça. Devido a esta característica, esta estratégia de corte possibilita um aumento das taxas de avanço e garante maior vida útil das ferramentas (BORGES, 2017).

Uma das vantagens do Wave Form está na profundidade de seu corte, pois este, já perfila a peça em sua profundidade final. Nesta operação o incremento de corte ocorre lateralmente e varia de acordo com a altura do perfil, com diâmetro da ferramenta, com o material da ferramenta e da peça, oscilando entre 0,5 a 20% do diâmetro da ferramenta (ALAMINI, 2020).

2.6 RUGOSIDADE

É o conjunto de irregularidades, isto é, saliências e reentrâncias que caracterizam uma superfície, esta desempenha um papel muito importante no comportamento de componentes mecânicos. Ela influi na: Qualidade de deslizamento, resistência ao desgaste, possibilidade de ajuste do acoplamento forçado, resistência oferecida pela superfície ao escoamento de fluido e lubrificantes, qualidade de aderência que a superfície oferece as camadas protetoras, vedação aparência (ROCHA, 2013).

Dentre os parâmetros de amplitude, o parâmetro Ra é normalmente empregado no controle do processo de fabricação, pois mudanças em sua grandeza indicam alterações no processo, em especial no desgaste da ferramenta (ROCHA,2013). Conforme fig.4.

Figura 4: Classe de rugosidade em função de Ra.

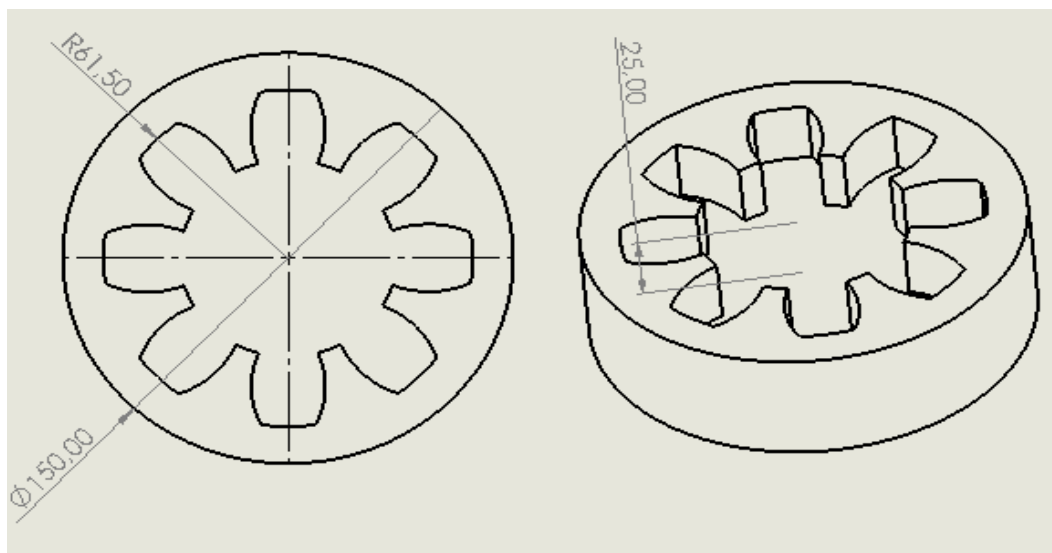
Classe de Rugosidade	Rugosidade Ra [μm]
N12	50
N11	25
N10	12,5
N9	6,3
N8	3,2
N7	1,6
N6	0,8
N5	0,4
N2	0,2
N3	0,1
N2	0,05
N1	0,025

Fonte: ROCHA, (2013)

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A peça que será usinada para o presente estudo é uma matriz para injeção de borracha, utilizando um torno convencional, foram usinados os corpos de prova em alumínio liga Al-Si, conforme medidas dimensionadas de acordo com o desenho da peça a ser fabricada, conforme fig. 5. Por se tratar de uma barra extrudada, onde se utiliza a bitola ligeiramente maior que o diâmetro final da peça, para assim reduzir a perda de material, tornando-a menor possível.

Figura 5: Desenho técnico da peça.



Fonte: Do autor (2021)

3.1 USINAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Utilizando um torno convencional Nardini, modelo NODUS, representado na Fig.6, foram usinados os 2 corpos de prova, com o propósito de preparar o material para em seguida realizar o processo de fresamento da matriz de injeção, utilizando a estratégia Wave Form, para validar a ideia proposta de alteração da estratégia. Inicialmente, foram faceadas as peças, tirando aproximadamente 1mm por passe, em seguida torneadas as peças no diâmetro, chegando a medida final de 150mm no diâmetro e no comprimento de 50mm.

Figura 6: Torno convencional.



Fonte: Do autor, (2021)

A foto da peça para a fabricação do acoplamento, representada na Fig.7, antes de ser torneada com medidas originais de diâmetro de 154,0mm, logo 4,0mm de sobremetal no diâmetro e com comprimento de 56,0mm, tendo 6,0mm de sobremetal do comprimento.

Figura 7: Foto da peça (a ser torneada).



Fonte: Do autor, (2021)

Após a usinagem dos corpos de prova, demonstrada na Fig.8, foi feita a análise visual e dimensional, a fim de validar as medidas e o acabamento. Em sequência as peças passaram pela usinagem do molde para injeção de borracha, onde também foi feita a análise visual do acabamento deixado pela fresa.

Figura 8: Foto da peça usinada



Fonte: Do autor, (2021)

3.2 USINAGEM DE MOLDES DE INJEÇÃO NOS CORPOS DE PROVA

O centro de usinagem utilizado foi ROMI D600 ano de fabricação 2013, comando Fanuc Oi 16, representada na Fig. 9.

Figura 9: Centro de usinagem



Fonte: Do autor (2021)

Para a usinagem dos corpos de prova, utilizou-se uma fresa de metal duro inteiriça de diâmetro 12mm, quatro arestas de corte e polida para melhor escoamento de cavaco e uma fresa de metal duro intercambiável diâmetro 12mm com três arestas de corte, conforme fig.10.

Figura 10: Fresa intercambiável, lado esquerdo. Fresa inteiriça, lado direito.



Fonte: Do autor (2021)

Para programação no CNC foi feito uso do software EDGE CAM, 2018 R2, que já conta com a tecnologia de usinagem Wave Form, uma estratégia de corte até então pouco conhecida em nossa região.

Procurando diminuir de forma significativa o tempo de usinagem a estratégia de corte Wave Form contorna a peça no perfil final e busca diminuir o número de ferramentas utilizadas no processo. É possível que a ferramenta que realiza o desbaste *Wave Form*, após essa operação, também pode realizar a operação de acabamento final, otimizando o processo e diminuindo o número de ferramentas a serem utilizadas. Então ganha-se tempo ao não realizar tantas trocas de ferramentas, o investimento ou deterioração de outro cone porta pinça, e da fresa de 12mm, já que com apenas uma ferramenta você consegue realizar todo o processo, tanto de fresamento, quanto o contorno.

No primeiro corpo de prova, sendo feito na forma convencional, o contorno foi realizado com apenas 1mm de profundidade, a fim de verificar se havia algum erro de programação e para verificar se as dimensões estariam como o que foi projetado, em seguida deu-se início a usinagem na profundidade de 25mm, corpo de prova finalizado, representado na fig.10.

Já no segundo corpo de prova, utilizando a estratégia de corte Wave Form, além de não precisar ser feito o contorno para verificar algum erro, já que a primeira peça já serviria de teste, a troca de ferramentas é menor e a quantidades de passes maior, então, se obtém uma alta taxa de remoção de metal.

Todo o procedimento de usinagens dos corpos de prova, medições e testes foram realizadas na UNISATC. O fluido utilizado é com base de polímeros e biodegradável, conhecido no mercado pelo nome de Lubri Cort S300.

Figura 10: Estado final da peça



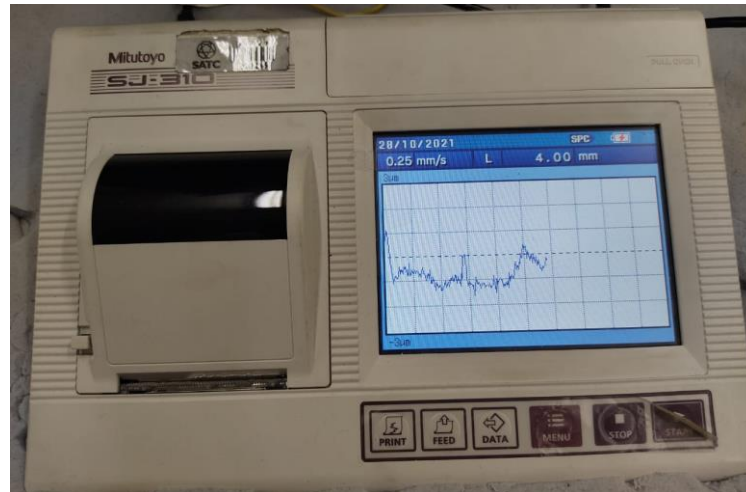
Fonte: Do autor, (2021)

Em ambas as peças não houve discrepância dimensional do desenho, e o resultado entre os dois métodos foi a diminuição do tempo de usinagem, onde o tempo de ciclo do modo comum foi de 1h21min12s para 16min49s utilizando a estratégia Wave Form.

3.3 AVALIAÇÃO DE RUGOSIDADE NOS CORPOS DE PROVA

Para a avaliação da rugosidade foi utilizado o rugosímetro portátil modelo SJ-310, conforme fig.11.

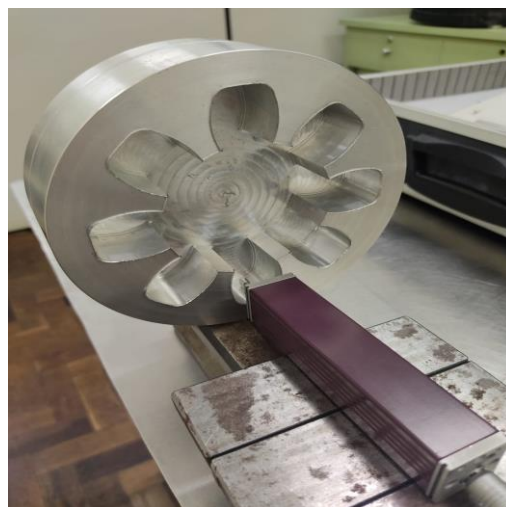
Figura 11: Rugosímetro.



Fonte: Do autor (2021)

Em cada corpo de prova foram realizadas nove avaliações em três pontos diferentes, logo, três avaliações para cada ponto, a fim de comprovar que a rugosidade ficou em um nível aceitável, prolongando a vida útil e prevenindo futuros desgastes, demonstrado na fig.12.

Figura 12: Avaliação de rugosidade



Fonte: Do autor (2021)

4. RESULTADOS E ANÁLISES

O objetivo principal deste estudo, foi analisar duas estratégias de cortes, e validá-la como uma opção mais rápida. Conseqüentemente diminuir o seu tempo em máquina, e aumentar de forma significativa a demanda de produção. Juntamente a análise de corte, será feita uma breve análise do custo por hora máquina, e análise de rugosidade comparando os dois métodos.

4.1 ANÁLISE DO CUSTO POR HORA MÁQUINA

Logo após o termino das usinagens dos corpos de prova, foi analisado a medida de ambas, e comprovado que não houve discrepância alguma, então, comparando os tempos de usinagem, foi constatado que teve um grande diminuição em relação ao tempo, reduzindo em 79,29%, de 1h21min12s no modo comum, para 16min49s na estratégia Wave Form. Levando em consideração o custo/hora máquina de R\$ 450,00, foi possível calcular o custo/peça de ambos os métodos. Conforme Tab.1.

Tabela 1: Analise de custo/peça em relação ao custo hora/máquina.

Estratégia de Corte	Custo Hora/Máquina (R\$)	Tempo/Peça (minutos)	Produção Peça/Hora (peças)	Custo/Peça (R\$)
Tradicional	450,00	81,20	0,739	609,00
Wave Form	450,00	16,82	3,568	126,13

Fonte: Do autor (2021)

4.2 ANÁLISE DE RUGOSIDADE E ACABAMENTO

Por se tratar de dois métodos diferentes, decidiu-se analisar a rugosidade de ambos os corpos de prova, a fim de validar qual seria o melhor processo, conforme

Tab.2 e Tab.3. Comprando os dois métodos, é possível ver que ambos alcançaram uma boa rugosidade, de acordo com a fig.4.

Tabela 2: Avaliação de rugosidade no corte tradicional.

Estratégia de Corte Tradicional	Medições Realizadas no Rugosímetro (μm)			Média (μm)
Avaliação 1	0,311	0,323	0,325	0,319
Avaliação 2	0,335	0,326	0,308	0,323
Avaliação 3	0,334	0,312	0,337	0,327

Fonte: Do autor (2021)

Tabela 3: Avaliação de rugosidade no corte wave form.

Estratégia de Corte Wave Form	Medições Realizadas no Rugosímetro (μm)			Média (μm)
Avaliação 1	0,364	0,351	0,352	0,355
Avaliação 2	0,349	0,332	0,326	0,335
Avaliação 3	0,341	0,329	0,358	0,342

Fonte: Do autor (2021)

Na análise de forma visual dos acabamentos nos corpos de prova, nota-se diferenças consideráveis, já que corpo de prova feito de forma comum necessita de duas ferramentas para finalizar o processo, e na estratégia de corte usando Wave Form, uma ferramenta é o suficiente tanto para dar os passes, quanto para o acabamento. A estratégia de corte Wave Form se sobressaiu, ficando totalmente sem

rebarbas e sem um pequeno ressalto no último passe devido a troca de ferramentas. Conforme fig.13 e fig.14.

Figura 13: Acabamento com método comum.



Fonte: Do autor (2021)

Figura 14: Acabamento com o método Wave Form.



Fonte: Do autor (2021)

5. CONCLUSÃO

Como o objetivo do estudo é diminuir o tempo de usinagem e conseguir reduzir gastos, o estudo em questão pode comprovar que alterando os métodos de estratégia de corte e reduzindo a troca no número de ferramentas, obtivemos uma notável diminuição no tempo de fabricação da peça, aproximadamente 79,29%. Com a redução no tempo de ciclo, a produção conseqüentemente aumenta, logo, um número de peças muito maior em relação ao método comum. Hoje com a crescente do setor metal mecânico, temos uma ótima opção para otimizar processos, aumentar a produtividade e aumentar o faturamento mensal.

Posteriormente a usinagem do corpos de prova, buscou-se analisar a rugosidade e acabamento de ambos os métodos. Tanto na estratégia comum, quanto na estratégia Wave Form tivemos bons resultados. No acabamento, analisando de forma visual, o método Wave Form se sobressaiu contribuindo ainda mais para comprovar que o estudo foi satisfatório.

Todos os objetivos propostos para esse artigo foram concluídos e alcançados de forma significativa. Fica como sugestão para trabalhos futuros, a análise das ferramentas utilizadas nesse método de corte em relação a desgaste e quantidades de peças que conseguiria usinar até precisar realizar a troca.

REFERÊNCIAS

- ALAMINI, Michel Simon. **Análise de viabilidade entre estratégia de corte comum e wave form no fresamento de dentes de acoplamentos em alumínio.** “*Não publicado*” TCC (Graduação) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Centro Universitário Unisatc, Criciúma, 2020.
- BORGES, Richard Gustavo. **Análise da influência do tipo de trajetória no desgaste da ferramenta no fresamento de aço ferramenta.** TCC (Graduação) – Tecnologia da Fabricação Mecânica, Instituto Federal de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, 2017. Disponível em: <
https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/236/Richard%20Borges_TCCFAB_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 20 de agosto de 2021.
- BUCKELL, William. **Avaliação da preparação de gume através do processo de escovação para aplicação em fresamento de topo reto.** TCC (Graduação) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2019. Disponível em: <
<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/5488/TCC%20William%20Buckell.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 19 de agosto de 2021.
- COPPINI, Nivaldo; DINIZ, Anselmo; MARCONDES, FRANCISCO. **Tecnologia da usinagem dos materiais.** 8. ed. São Paulo: Artliber, 2014.
- CRUZ, Marina; DANELUZ, Renata. **Influência no custo do processo devido a variação dos parâmetros de usinagem no fresamento de alumínio.** TCC (Graduação) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019. Disponível em: <
http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24803/1/PB_DAMEC_2019_1_20.pdf>. Acesso em: 05 de agosto de 2021.
- DOBLER, Jeancarlo Korb. **Estudo comparativo de estratégias de usinagem na fabricação de um modelo de alumínio .** TCC (Graduação) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2014. Disponível em: <
<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/6040/Marcelo%20Muller%20da%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 de agosto de 2021.
- FERREIRA, Gabriel Roque. **Análise comparativa entre pastilhas de corte no processo de usinagem.** 2020. 46f. TCC (Graduação) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Centro Universitário do Sul de Minas, Varginia, 2020. Disponível em:<<http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/1503/1/Gabriel%20Roque%20Ferreira.pdf>>. Acesso em: 15 de agosto 2021.
- GONÇALVES, Ricardo Augusto. **Investigação da usinabilidade das ligas de alumínio da série 6XXX.** 2012. 124f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de

Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14911/1/d.pdf>>. Acesso em 15 de agosto 2021.

OLIVEIRA, Celso Evandro. **Proposta de adequação de um torno cnc a nr 12**. TCC (Graduação) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina, 2015. Disponível em: <<https://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2015/CelsoEvandroLimaOliveira.pdf>> Acesso em: 05 de agosto de 2021.

ROCHA, Ribamar da. **ANÁLISE DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL USINANDO LIGAS DE ALUMÍNIO SAE 305 E SAE 323 COM FRESA DE METAL DURO**. TCC (Graduação) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2013. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/1885/TCC_RIBAMAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SILVA, Marcelo Muller. **Melhoria do processo de usinagem em torno cnc com o auxílio do sistema lean manufacturing**. TCC (Graduação) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2019. Disponível em: <<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/6040/Marcelo%20Muller%20da%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 de agosto de 2021.

SILVA, Vivian Martins Ferreira da. **Análise do torneamento do aço AISI 4340 endurecido com ferramentas de metal duro recobertas com TiAlN-TiN**. TCC (Graduação) Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/213936/silva_vmf_tcc_guara.pdf?sequence=4>. Acesso em: 17 de novembro de 2021

SOUZA, Adriano Fagali. **Contribuições ao fresamento de geometrias complexas aplicando a tecnologia de usinagem com altas velocidades**. Tese (Mestrado) – Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Tese_AdrionoFagalideSouza.pdf>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Fundamentos dos processos de usinagem**. São Paulo, 2017. Apresentação em Slide Share. 72 slides. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/PMR2202-AULA%20RS1.pdf>>. Acesso em: 10 de agosto de 2020.

