

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**MARINA MARQUES DE ALMEIDA ROSA DA CRUZ
RENATA DANELUZ**

**INFLUÊNCIA NO CUSTO DO PROCESSO DEVIDO A VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE
USINAGEM NO FRESAMENTO DE ALUMÍNIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2019

MARINA MARQUES DE ALMEIDA ROSA DA CRUZ
RENATA DANELUZ

**INFLUÊNCIA NO CUSTO DO PROCESSO DEVIDO A VARIAÇÃO DOS
PARÂMETROS DE USINAGEM NO FRESAMENTO DE ALUMÍNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Freitas de Lima

Coorientador: Prof. Dr. José Donizetti de Lima

PATO BRANCO

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

Influência do Custo no Processo Devido a Variação dos Parâmetros no Fresamento de Alumínio

Marina Marques de Almeida Rosa da Cruz

Renata Daneluz

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 19/06/2019 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheira Mecânica, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Me. Cícero Gallina de Aguiar
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Paulo Fischer
(Engenheiro Mecânico)

Prof. Dr. Fabio Freitas de Lima
(UTFPR – Departamento de Mecânica)
Orientador

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

DEDICATÓRIA

Eu Renata, dedico ao meu filho, Francisco Pizzato, por ter chegado na minha vida quando eu pensava em desistir. Você é minha inspiração para continuar, para nunca desistir, é a prova de que tudo pode ser melhor. É por você que eu chego aqui hoje e é por você que continuarei sempre em frente.

Eu Marina, dedico ao meu pai Pedro Afonso Rosa da Cruz por quem eu fiz esse curso até o final, por nunca ter duvidado da minha capacidade e ter me encantado com o seu amor e dedicação a Engenharia. A minha mãe Maria Claudia Marques de Almeida Cruz, por não medir esforços para realizar meus sonhos, por confiar no meu potencial e me apoiar em todas as escolhas e momentos. A vocês devo tudo que sou hoje.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos de Renata Daneluz

Aos meus pais Adair Daneluz e Teresinha Daniel Daneluz pela minha educação, carinho e por nunca me deixarem desistir.

Ao meu esposo Alair Marcante Pizzato, pela paciência nos dias difíceis. Por estar ao meu lado a cada passo importante e por sempre acreditar na minha capacidade.

Aos meus irmãos Daniela e Mateus por me darem suporte nos momentos de dificuldade e por fazerem parte da minha história.

A minha colega de TCC, Marina Marques de Almeida Rosa da Cruz, sem você nunca teria chegado até aqui. Obrigada por sempre me ajudar, não só na vida acadêmica mas também pessoal.

Agradecimentos de Marina Cruz

Aos meus irmãos Raphael e Lila e cunhados Thalita, Matheus e Renan que enchem meu coração de coragem, por serem minha fonte de inspiração e por não medirem esforços para estarem comigo.

Ao meu noivo Vinícius, por todo apoio ao longo dessa jornada, por ter enchido meus olhos com uma nova perspectiva de mundo, por não medir esforços para estar sempre ao meu lado, por tanto cuidado e amor.

A minha amiga Renata, que foi essencial para chegar até aqui e me trouxe esperança nos momentos difíceis. Minha gratidão é eterna assim como meu amor. Ao meu sobrinho Francisco a quem amo incondicionalmente.

A minha irmã do coração Claudia que me mostrou o verdadeiro significado de amizade, que me apoiou, amou e por quem tenho uma admiração e gratidão imensurável. A Thais, Marizete, Anaclara e Letycia, que me proporcionaram tantas experiências, que me ensinaram tanto sobre a vida, amizade, respeito e carinho. A minha amiga Thainá, que levarei no coração eternamente por estar comigo quando necessário. A todas as repúblicas por onde passei e fiz amigos incríveis.

Ao professor Fábio Lima, engenheiro Paulo Fischer e professor José Donizetti, pelo investimento, por tanta paciência, por não medirem esforços para termos excelência neste trabalho.

EPÍGRAFE

“Eu quero ser tudo aquilo que sou capaz de me tornar”
(Mansfield, Katherine)

RESUMO

Cruz, Marina; Daneluz, Renata. Influência no custo do processo devido a variação dos parâmetros de usinagem no fresamento de alumínio. 2019. 59 f. Trabalho de Conclusão – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Dentro do cenário mundial, observa-se a constante evolução da tecnologia e com ela, os processos fabris têm sofrido diversas adaptações. Nos dias atuais, para que uma organização se mantenha competitiva, torna-se necessário algumas modificações e melhorias no processo de produção. Dentre elas, destaca-se neste trabalho a importância do levantamento de informações sobre o planejamento do processo para que assim seja possível controlá-los visando a padronização permitindo uma melhoria nas etapas dos processos, controle da produção, além de possibilitar uma análise crítica dos resultados obtidos. O estudo foi realizado em uma empresa de usinagem, localizada no Sudoeste do Paraná, que produz lotes de tamanhos variados. A peça em estudo foi reproduzida na própria empresa, a fim de garantir a confiabilidade dos resultados apresentados. Assim, com base nos dados obtidos durante os testes elaborou-se uma análise de custos a fim de evidenciar as causas, consequências e possíveis melhorias no processo aplicando esta metodologia.

Palavras-chave: Métodos de custeio. Usinagem. Processos de produção.

ABSTRACT

Cruz, Marina; Daneluz, Renata. Influence on process cost due to variation of machining parameters in aluminum milling. 2019. 59 f. Trabalho de Conclusão – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Within the world scenario, one observes a constant evolution of the technology and with her, the processes of production have undergone diverse adaptations. Nowadays, in order to maintain competitiveness, some modifications and improvements to the production process are necessary. Among them, it is important to highlight the importance of collecting information on the process elaboration process, production control, as well as a critical analysis of the results obtained. The study was carried out in a machining company, located in the Southwest of Paraná, that makes lots of varied sizes. The part under study was reproduced in the company, in order to guarantee a stability of the presented results. Thus, based on the data obtained during the tests, a cost and evidence analysis was elaborated as causes, consequences and changes in the process applying this methodology.

Keywords: Costing methods. Machining. Production processes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fresa de Topo Inteiriça metal duro	17
Figura 2 - Terminologia das Fresas de Topo.....	18
Figura 3 - Velocidades de Corte e do Avanço no Fresamento	19
Figura 4(a) - Vista Lateral do Fresamento de Topo.....	20
Figura 4(b) - Vista Lateral do Fresamento de Topo.....	20
Figura 5 - Classificação das Ligas de Alumínio	21
Figura 6 - Classificação dos grupos quanto ao elemento de liga.	22
Figura 7 - Elementos químicos da liga 5083 H111.....	223
Figura 8 – Grau de dureza do material.....	223
Figura 9 – Fatores que influenciam na rugosidade	264
Figura 10 – Rugosidade Ra –Roughness average.....	26
Figura 11 - Superfície Usinada no Fresamento Frontal.....	26
Figura 12 - Fatores que Influenciam na Qualidade Superficial	27
Figura 13 - Direções de aplicação do fluido de corte	29
Figura 14 - Planejamento do Processo	31
Figura 15 - Desenho da peça produzida	34
Figura 16 - Máquina utilizada para o fresamento	35
Figura 17 - Fresas de topo reto utilizadas	36
Figura 18 - Variáveis de corte segundo recomendações do fabricante.....	37
Figura 19 - Projeto dos canais de teste.....	39
Figura 20 – Rugosímetro TR220	40
Figura 21 - Canais utilizando a ferramenta H1	46
Figura 22 (a) - De cima para baixo canais utilizando a estratégia A1, A12, A13.....	48
Figura 22 (b) - De cima para baixo canais utilizando a estratégia A41, A42, A43.....	48
Figura 23 (a) - De cima para baixo canais utilizando a estratégia A21, A22, A23.....	49
Figura 23 (a) - De cima para baixo canais utilizando a estratégia A31, A32, A23.....	50
Figura 24 - Tempo estimado para a produção da peça.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades Mecânicas e Físicas da liga de Alumínio 5083.....	24
Tabela 2 - Planejamento do material a ser adquirido pela empresa.....	36
Tabela 3 - Variáveis de corte utilizadas para confecção dos canais.....	38
Tabela 4 - Dados da rugosidade obtida no fresamento dos canais.....	45
Tabela 5 - Matéria prima envolvida na fabricação da peça.....	42
Tabela 6 - Cálculo da hora do operador.....	42
Tabela 7- Cálculo da hora do operador para fabricar uma peça.....	43
Tabela 8 - Custo do projeto CAM.....	43
Tabela 9 -Comparação da rugosidade entre as ferramentas H1 e H4.....	47
Tabela 10- Comparação dos resultados de rugosidade entre ferramentas H2 e H3.....	49
Tabela 11 - Custo da ferramenta H1 para produzir uma peça	52
Tabela 12 - Material utilizado conforme estratégia A11	52
Tabela 13 - Valor agregado do tempo de usinagem.....	52
Tabela 14 - Preço do CAM.....	53
Tabela 15 - Custo total do processo de fresamento com a ferramenta H1.....	53

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

v_c	Velocidade de Corte	m/min
f_t	Avanço por Dente	mm/min
a_p	Profundidade de Corte	mm
a_e	Largura de Corte	mm
D_f	Diâmetro Nominal da Ferramenta	mm
$d_{(z)}$	Diâmetro da Ferramenta	mm
z	Distância da Base da Ferramenta	mm
f	Avanço	mm/min
a_p	Profundidade de Corte Axial	mm
a_e	Profundidade de Corte Radial	mm
n	Velocidade de Rotação	rpm
TRM	Taxa de Remoção de Material	cm^3/min
I_m	Comprimento de Medição	m
v_f	Velocidade de Avanço	mm/min
R_a	Rugosidade Média	μm
R_z	Rugosidade Média Parcial	μm
R_y	Rugosidade Máxima	μm
R_t	Rugosidade Total	μm
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	-
ABAL	Associação Brasileira de Alumínio	-
DIN	Instituto Alemão para Norma	-
NBR	Norma Brasileira	-
ISO	Organização Internacional de Normalização	-
PP	Planejamento de Processo	-
CAPP	Planejamento de Processo Assistido por Computador	-
CAD	Desenho Assistido por Computador	-
CAM	Manufatura Auxiliada por Computador	-
CNC	Comando Numérico Computadorizado	-
APC	Aresta Postiça de Corte	-

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo Principal.....	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 JUSTIFICATIVA	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 CONCEITO DE USINAGEM	16
2.2 FRESAMENTO	16
2.2.1 Fresamento de Topo	17
2.2.2 Grandezas no Fresamento	18
2.3 ALUMÍNIO E SUAS LIGAS	20
2.3.1 Liga de alumínio 5083 H111.....	22
2.4 RUGOSIDADE	24
2.4.1 Rugosidade Média (<i>Ra</i>);	25
2.4.3 Fatores que Influenciam na Qualidade Superficial	26
2.5 FLUIDOS DE CORTE	27
2.6 PADRONIZAÇÃO	29
2.7 PLANEJAMENTO DO PROCESSO (PP).....	30
2.8 CUSTEIO	32
3 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)	34
3.1 EXPERIMENTAL.....	35
3.1.1 Lista de Seleção dos Materiais.....	35
3.1.3 Definição dos Parâmetros de Usinagem	37
3.1.4 Execução dos Canais Teste.....	39
3.1.5 Medidas de Rugosidade	40

3.1.6 Confeção da peça.....	40
3.2 ANÁLISE DE CUSTOS	41
3.2.1 Análise do Material Direto	41
3.2.2 Custos da Mão de Obra Direta.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.2 Custo Para a Produção da Peça	51
5 CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS.....	55
APÊNDICE A – RESULTADOS ENCONTRADOS UTILIZANDO OS PARÂMETROS RECOMENDADOS PELO FABRICANTE	58

1 INTRODUÇÃO

Para uma empresa se tornar produtiva e de qualidade, é necessário que ela tenha total controle do seu processo produtivo e que dê a devida importância no que diz respeito a padronização para que assim, seja possível identificar melhorias no processo.

Entende-se por processo de usinagem a retirada de material excedente por corte. O excesso de material retirado é chamado de cavaco, que é removido por uma ferramenta de corte (FERRARESI, 1977). A usinagem é a fase que mais agrega valor no processo produtivo de um produto.

O desempenho de um processo de usinagem, seja ele por fresamento ou não, depende de vários fatores, tais como usinabilidade dos materiais, potência e rigidez de equipamentos, material e geometria da ferramenta de corte, processo de formação dos cavacos, lubrificação e refrigeração, entre outros.

Dentre as diversas formas de usinagem, o fresamento está entre as operações de corte mais influentes na usinagem dos materiais. Este processo, apresenta considerável complexidade por estar intimamente ligado a diversos parâmetros e variáveis envolvidas no processo de corte.

O alumínio é comercializado há cerca de 150 anos e hoje está presente em grande escala em várias regiões do mundo. O Brasil é o sexto produtor de alumínio primário e o quinto em exportação do mesmo (ABAL, 2007).

Embora muito usual, a usinagem é um processo extremamente imprevisível. Isso deve-se a diversos fatores dentre eles pode-se citar:

- ser um processo extremamente flexível e permissivo onde a ferramenta é a única direcionadora do processo;
- permitir a combinação de diferentes variáveis de corte produzindo altas deformações além de altas taxas de remoção de material.

Para conseguir minimizar e prever como será o resultado final do processo, ainda que conte com essa vasta opção das diferentes estratégias, existem algumas formas para enfrentar essa situação. Dentre elas destacam-se a vivência e experiência por acertos e erros do planejamento, a análise utilizando teorias próximas do que está sendo usinado, a verificação experimental que gera custos e por muitas vezes não é viável. Em geral, nenhuma dessas abordagens é capaz de sozinha,

encontrar soluções satisfatórias, sendo recomendada a combinação de duas delas, ou mesmo das três abordagens supracitadas (MACHADO et al., 2009).

Das técnicas de usinagem, o fresamento de topo é o que mais se emprega na indústria atual devido a facilidade de remover material e produzir superfícies de qualidade (MARCELINO et al., 2004).

Neste trabalho apresenta-se uma metodologia de custeio, analisando o custo da produção para uma empresa que presta serviços de usinagem e não possui um método definido para calcular os gastos da manufatura.

Para que o trabalho se torne confiável, foi realizado o planejamento dos testes, a fim de ter um embasamento teórico para que fosse possível comparar os resultados esperados com os experimentais. Empregou-se quatro fresas de topo de duas marcas diferentes, confeccionando 12 canais utilizando parâmetros distintos. O material a ser usinado foi um *blank* de liga de alumínio naval 5083 T111.

O intuito de analisar a rugosidade dos canais, é selecionar uma estratégia que resulte no melhor acabamento para a produção de uma peça. A mesma é utilizada em uma colheitadeira analisando assim os custos envolvidos nessa produção.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Principal

A partir do estudo de caso e revisão bibliográfica, elaborar uma metodologia de custeio que atenda as diversas necessidades dos clientes, visando a otimização e competitividade para indústrias que fabricam peças em alumínio, através do processo de fresamento.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- Embasamento teórico sobre teorias e metodologias de custeio, parâmetros de usinagem, gerenciamento de projeto, planejamento de processo, efetividade do uso de lubrificantes, análise da rugosidade;

- Definir diferentes estratégias de fresamento que serão testadas com 4 ferramentas distintas;
- Realizar levantamento de custos de todos os fatores que influenciam no custo do processo;
- Executar testes seguindo a metodologia adequada;
- Elaborar uma metodologia de custeio.

1.3 JUSTIFICATIVA

Para obter um bom controle de determinado processo produtivo, a padronização é um elemento fundamental para satisfazer requisitos estabelecidos por clientes. Além disso, ter um sistema padronizado permite detectar facilmente potenciais melhorias, aumentando assim, a produtividade e qualidade.

A utilização do alumínio nas empresas de usinagem é de grande representatividade. Isso deve-se ao fato dele possuir características que atendem os requisitos necessários para fabricar diferentes peças.

Durante o processo de usinagem existem diversas ferramentas e materiais que são possíveis para a execução de um determinado produto. Com isso, obter conhecimento das inúmeras variáveis que envolvem o processo garante que seja possível avaliar e mais do que isso, estimar custos de um sistema de manufatura.

Estabelecer critérios para o uso de ferramentas é de suma importância para a empresa pois o não cumprimento destes, gera gastos desnecessários visto que cada ferramenta deve ser utilizada para diferentes materiais fornecendo um resultado distinto na peça.

Dentre as competências do Engenheiro Mecânico designa-se a esta classe o controle de qualidade e padronização. Sendo assim, estes profissionais têm qualificação para gerenciar o processo produtivo de forma eficiente, aperfeiçoando o processo e reduzindo custo.

Nota-se uma escassez de informações e estudos em empresas na região do sudoeste do Paraná, no que diz respeito ao uso adequado de ferramentas e fluidos de corte no processo de usinagem, bem como nos custos envolvidos no processo. A realização deste trabalho colabora com os interesses pessoais das autoras em dar continuidade aos estudos futuros e cessar as lacunas criadas a respeito do assunto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este Trabalho de Conclusão de Curso está estruturado em cinco capítulos, onde cada um destes levam o leitor a compreender todas as teorias e metodologias que endossam este trabalho.

No primeiro capítulo, consta a introdução, objetivos e justificativa do trabalho apresentando ao leitor as informações básicas pertinentes ao assunto que será abordado.

O segundo capítulo, engloba a revisão bibliográfica onde é possível encontrar diversas literaturas que auxiliaram na produção deste.

Já o terceiro capítulo, trata da metodologia empregada para realizar o estudo.

O quarto capítulo, contém os resultados dos procedimentos adotados que foram obtidos através de análises e experimentos.

Por fim, o quinto capítulo é específico para as conclusões obtidas do estudo realizado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITO DE USINAGEM

Dentre os processos de fabricação que conhecemos dentro da Engenharia, um dos mais conhecidos e utilizados mundialmente é o de usinagem. Para dar continuidade neste trabalho, torna-se essencial fundamentar estes conceitos pois o processo de fresamento abordado, é uma variação deste.

Segundo a norma DIN 8580 (1989), define-se usinagem todo e qualquer processo onde tem-se a remoção de material sob a forma de cavaco.

Diversas máquinas foram desenvolvidas para usinagem de peças, entre as mais conhecidas e utilizadas encontram-se os tornos, fresadoras, plainas, furadeiras e retificadoras. Este conjunto de máquinas é capaz de usinar grande parte das peças desejadas atualmente com menor ou maior grau de complexidade geométrica. Neste trabalho é adequado dar ênfase ao processo de usinagem realizada por uma fresadora que é uma máquina que realiza a operação de fresamento (AGOSTINHO et al., 2004).

2.2 FRESAMENTO

Segundo a Norma DIN 8589 (1989), o fresamento é um processo de usinagem feito com ferramentas de múltiplos cortes com o objetivo de ter qualquer tipo de acabamento na superfície da peça a ser trabalhada.

Temos ainda o conceito que fresamento é o ato de retirada do material por uma determinada ferramenta cortante, que remove material do material bruto onde a fresa está em contato.

Essa ferramenta cortante, é denominada de fresa e cada uma das arestas de corte desta é responsável pela remoção de certa quantidade de material gerando os cavacos, que são expulsados do material através da ferramenta (SANDIVIK, 2012).

Ao mesmo tempo que o material a ser fresado efetua o movimento de avanço, a ferramenta, realiza o movimento de corte, mantendo o eixo de rotação em uma posição fixa (DINIZ et al. 2013).

Diniz et al. (2013), citam que a operação de fresamento pode ser classificada de duas formas:

- conforme a disposição do eixo árvore da máquina-ferramenta podendo ser horizontal, vertical ou inclinado ou;
- de acordo com a disposição dos dentes ativos da fresa podendo ser tangencial ou frontal.

No fresamento tangencial, o eixo da fresa é paralelo à superfície que está sendo gerada e os dentes ativos estão na superfície cilíndrica da ferramenta. As fresas empregadas são cilíndricas ou tangenciais.

No fresamento frontal, o eixo da fresa é perpendicular à superfície gerada e os dentes ativos estão na superfície frontal da ferramenta. Neste trabalho iremos utilizar esse tipo de disposição.

2.2.1 Fresamento de Topo

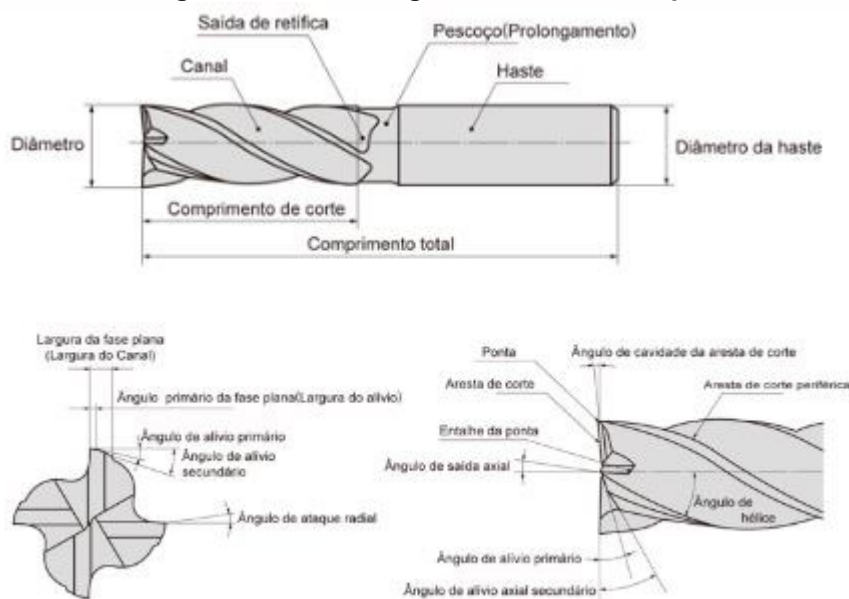
Segundo a Sandvik (2012), aconselha-se utilizar a fresa de topo para realização de canais e fresamento de rasgo de chaveta. As fresas de topo são as únicas que podem fazer fresamento em canais fechados que sejam retos, curvos ou em ângulos e em bolsões específicos, maiores que os diâmetros das ferramentas. A Figura 1 ilustra um exemplo de fresa de topo e a Figura 2 exemplifica sua terminologia.

Figura 1 - Fresa de Topo Inteiriça metal duro



Fonte – Sandvik Coromant (2012)

Figura 2 - Terminologia das Fresas de Topo



Fonte – Mitsubishi Materials (2012)

2.2.2 Grandezas no Fresamento

Todos os processos que envolvem usinagem, exigem uma previsão do processo para que seja possível estimar o quanto de material deverá ser removido da peça bruta. Assim sendo, para obtermos um fresamento de qualidade, devemos planejar as grandezas de penetração, avanço e velocidade para que estas sejam informadas a máquina de forma a atender os requisitos tanto do projeto quanto do planejamento.

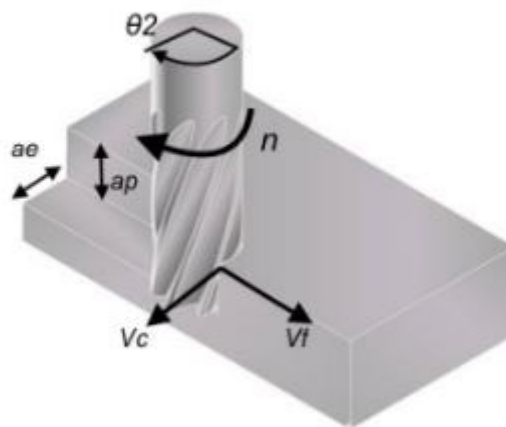
Estes parâmetros de corte, são necessários para planejar o processo e afetam diretamente no acabamento final da peça. Torna-se importante também ter cuidado na análise da máquina, verificando se atende à essas necessidades pré-estabelecidas tal como, potência suficiente para realizar o processo de acordo com os parâmetros escolhidos. A Figura 3 mostra que os parâmetros básicos de usinagem são:

- velocidade de corte v_c ;
- avanço por dente f_t ;
- profundidade de corte a_p ;
- largura de corte a_e .

A velocidade de corte (v_c) é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta de corte. Sua direção é tangente ao ponto de contato entre peça e ferramenta e é dada em m/min .

A rotação da ferramenta (n), pode ser calculada utilizando a velocidade de corte v_c , considerando o diâmetro da ferramenta (d_f). Caso o diâmetro da ferramenta não seja constante, a velocidade de corte irá variar de acordo com a posição e com o diâmetro da ferramenta ao longo dessa distância qualquer $d_{(z)}$.

Figura 3 - Velocidades de Corte e do Avanço no Fresamento



Fonte – Marun (2017).

- Grandezas de avanço: São aquelas resultantes do movimento de avanço da ferramenta - *blank*.

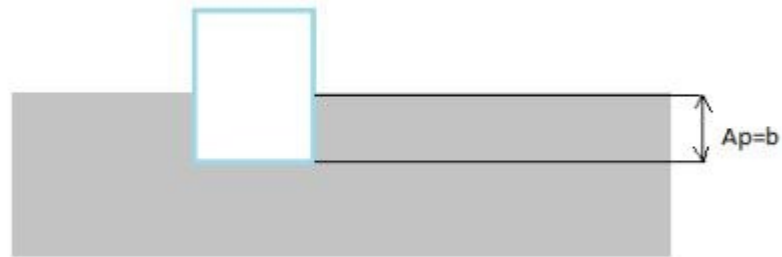
f (avanço): representa o percurso de avanço dado em milímetros em uma volta completa da ferramenta.

f_z (avanço por dente): é a trajetória, medida na direção de avanço e representa a distância entre duas superfícies consecutivas.

- Grandezas de penetração:

a_p (profundidade de corte axial): é a profundidade de corte, o quanto a ferramenta penetra na peça. A profundidade de corte deve possuir a largura de corte b e ser perpendicular ao plano de trabalho, conforme a Figura 4 (a);

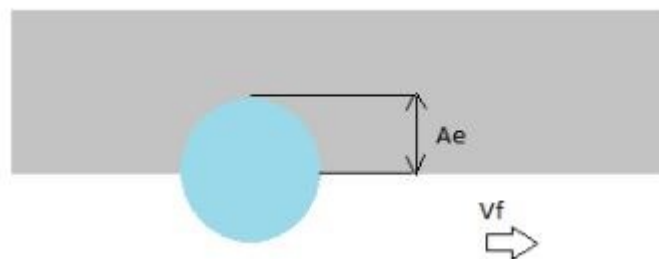
Figura 4(a) - Vista Lateral do Fresamento de Topo



Fonte – A autoria própria (2019).

a_e (profundidade de corte radial): é a largura de penetração da ferramenta na peça, perpendicular ao avanço f conforme Figura 4 (b).

Figura 4(b) - Vista Superior do Fresamento de Topo



Fonte - A autoria própria (2019).

- Grandeza de velocidade

Velocidade de rotação (n): representa quantas voltas a fresa realiza por minuto no eixo árvore. Este é um valor relacionado à máquina-ferramenta, calculado tomando o valor da velocidade de corte recomendada para a operação.

Velocidade de avanço (v_f): representa a velocidade com que a fresa se desloca na direção de avanço com relação à peça fixada na mesa da máquina-ferramenta.

2.3 ALUMÍNIO E SUAS LIGAS

O alumínio é o metal não-ferroso mais utilizado na indústria metal-mecânica devido a sua grande diversidade de uso, leveza, resistência a oxidação, boa condutividade térmica, boa usinabilidade e excelente capacidade de reciclagem. Na usinagem sua versatilidade para se determinar a velocidade e facilidade com que ele

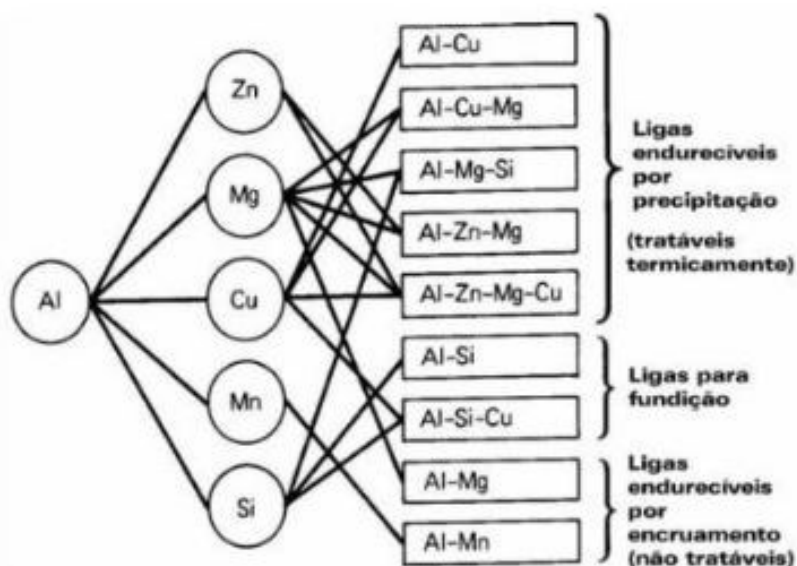
pode ser usinado, além de não necessitar da aplicação de revestimentos de proteção, faz com que o uso dele se difunda na indústria com facilidade.

Apesar do alumínio ter como característica boa usinabilidade, devemos também analisar as diversas ligas que existem de forma a conhecer as características de cada uma delas (CUNHA, 2012).

Comercialmente falando, os principais elementos químicos das ligas de alumínio são Cobre (Cu), Magnésio (Mg), Silício (Si), Manganês (Mn) e Zinco (Zn).

As ligas de alumínio podem ser divididas em três grupos distintos. A figura 5 representa esquematicamente essa divisão.

Figura 5 - Classificação das Ligas de Alumínio

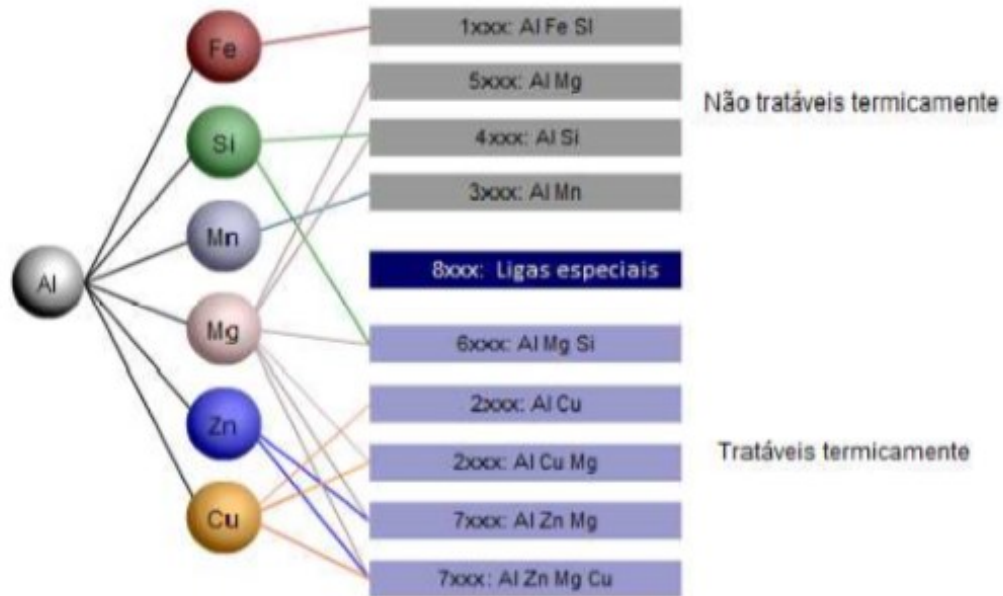


Fonte - ASM Handbook (1993).

Entende-se que ligas não tratáveis termicamente, são aquelas que não são endurecidas por meio de tratamento térmico. Já as ligas que aceitam tratamento térmico, são endurecidas por meio destes.

Ainda sobre essas classificações temos os grupos das ligas. Cada número de início dos quatro dígitos representa a adição de certos elementos no alumínio. A Figura 6 mostra quais são estes grupos.

Figura 6 -Classificação dos grupos quanto ao elemento de liga.



Fonte – Rocha, Ribamar (2013)

Segundo a ABAL – Associação Brasileira de Alumínio, apesar de todas as ligas poderem ser usinadas, a ação de corte da ferramenta é mais eficaz em materiais de ligas completamente envelhecidas termicamente, com baixo alongamento, devido ao fato de produzirem cavacos menores, comparando com materiais mais moles e dúcteis.

2.3.1 Liga de alumínio 5083 H111

Essa liga é pertencente ao grupo 5. Com isso, conforme a Figura 6, podemos dizer que ela possui o elemento Mg em sua composição. Observando a Figura 7, vemos que esta deve ter no mínimo 4% de magnésio em sua composição fazendo com que esse material tenha uma alta resistência a corrosão e excelente soldabilidade. A liga de alumínio 5083 H111 é uma das mais utilizadas na indústria naval.

Figura 7 - Elementos Químicos da Liga 5083 H111

Elemento	Mínimo	Máximo
Si	0,00	0,40
Fe	0,00	0,40
Cu	0,00	0,10
Mn	0,40	1,00
Mg	4,00	4,90
Cr	0,05	0,25
Zn	0,00	0,25
Ti	0,00	0,15
Outro	0,00	0,05
Al	RESTANTE	RESTANTE

Fonte – Metalthaga (2015).

Além disso, pode-se observar na nomenclatura do material o uso da letra H, através dela entende-se que é realizado um endurecido por encruamento. O sufixo H é seguido por mais dois dígitos. O primeiro é o número um então teremos H1 e isso representa produtos conformados que apresentam encruamento e não sofreram nenhum tratamento suplementar.

O segundo dígito representa o grau de dureza, conforme a Figura 8 que segue:

Figura 8 - Grau de dureza do material

GRAU DE DUREZA	TERMO USADO
1	1/8 de Duro
2	¼ Duro
4	½ Duro
6	¾ DURO
8	DURO
9	EXTRA-DURO

Fonte: Metalthaga (2015).

Apresenta-se na Tabela 1, as propriedades do material em estudo.

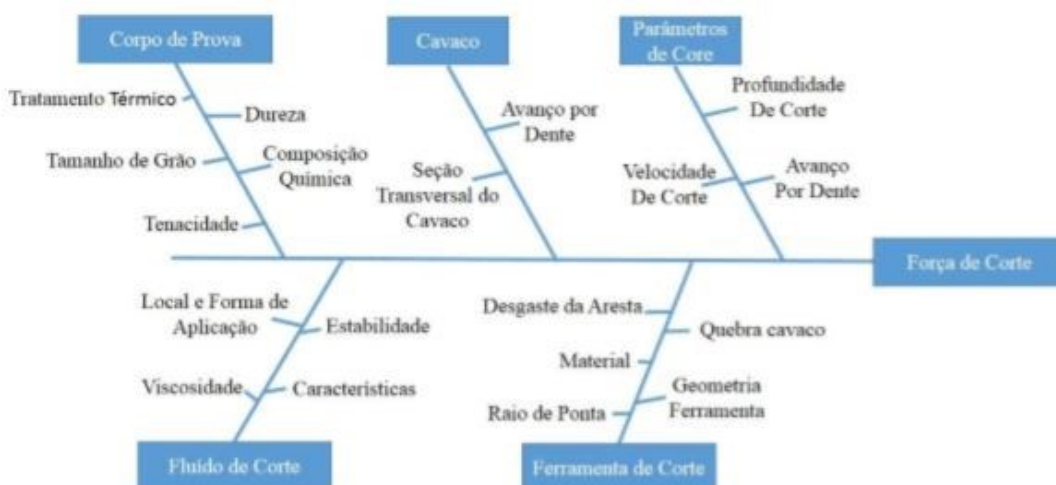
Tabela 1 - Propriedades Mecânicas e Físicas da liga de Alumínio 5083

Propriedades da Liga de Alumínio 5083	
Propriedades Mecânicas	
Limite de Escoamento (MPa)	110-130
Limite de Resistência a Tração (MPa)	230-290
Alongamento	15
Dureza HB	68-78
Propriedades Físicas	
Densidade [g/cm ³]	2,66
Módulo de Elasticidade (GPa)	70
Condutividade Elétrica [m/Ω.mm ²]	15-18
Coefficiente de Expansão Térmica [k ⁻¹ .10 ⁻⁶]	23,3
Condutividade Térmica [W/m.K]	110-130
Calor Específico[J/Kg.K]	900

Fonte – Adaptado de Metalthaga (2015).

2.4 RUGOSIDADE

A rugosidade é um fator próprio, resultado da aplicação específica de uma superfície usinada. Pode ser descrita como as irregularidades na superfície da peça, que é proveniente do processo de corte. Segundo Bajić et al. (2009), essa característica depende de vários parâmetros como propriedades da ferramenta de corte, parâmetros de usinagem, propriedade da peça e dos fenômenos de corte. A Figura 9, demonstra os principais fatores que influenciam na rugosidade no processo de corte.

Figura 9 - Fatores que influenciam na rugosidade

Fonte – Adaptado de Bajić et al. (2012).

O aparelho utilizado para medir rugosidade é chamado rugosímetro. Existem duas maneiras que ela pode ser medida, com ou sem contato entre o apalpador e a peça. No trabalho será empregado a medição com contato, por ser mais simples, versátil e de menor custo. Nessa técnica, o equipamento consiste de um apalpador que percorre em linha reta uma distância previamente definida denominada comprimento total. O deslocamento vertical do apalpador é convertido em sinal elétrico e então amplificado. O resultado pode ser apresentado na forma numérica, pelo gráfico do perfil que representa a superfície analisada e há, ainda, a possibilidade de utilizar filtros para eliminar a influência das ondulações [Santos e Sales, 2007].

Para determinar os parâmetros de rugosidade, alguns conceitos perduram para que se possa fazer uma análise quantitativa. Os mais notórios são:

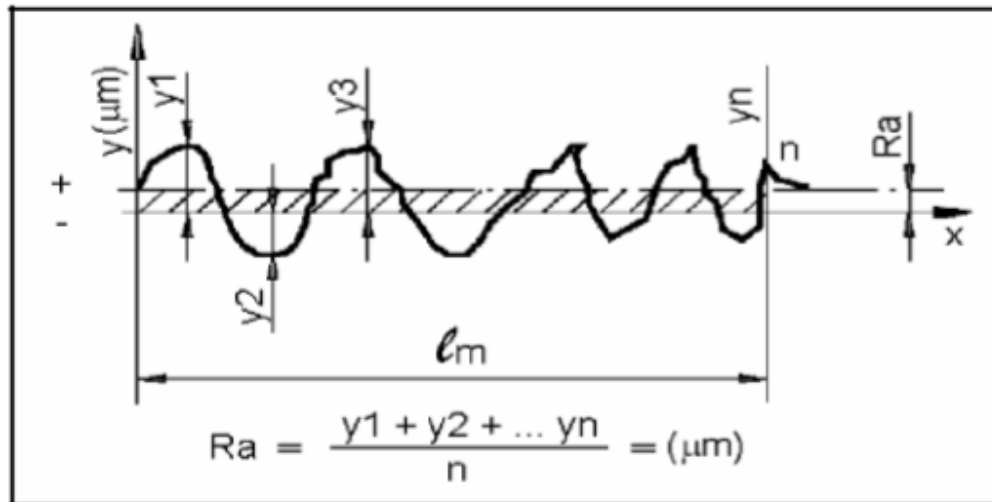
- Rugosidade Média (R_a);
- Rugosidade Média Parcial (R_z);
- Rugosidade Máxima (R_y);
- Rugosidade Total (R_t).

Neste trabalho só será utilizado o parâmetro R_a , pois a grande maioria dos equipamentos realizam este tipo de leitura, além do fato de ser o parâmetro solicitado nos projetos dentro da indústria.

2.4.1 Rugosidade Média (R_a);

É a média aritmética dos valores de afastamento dispostos no eixo y em relação à uma linha média, dentro de um comprimento adotado, chamado de percurso de medição Figura 10.

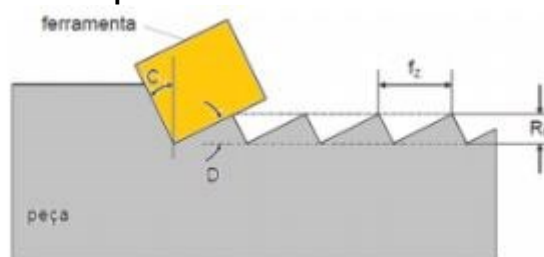
Figura 10 - Rugosidade Ra – Roughness average



Fonte - Agostinho et al. (2004).

Os principais fatores que podem afetar o acabamento superficial da peça são o acabamento teórico e os componentes não geométricos. O primeiro é oriundo da geometria e cinemática da ferramenta e pode ser calculado pelos parâmetros de usinagem utilizados. O segundo provem do desgaste da ferramenta, deformação do material da peça, vibração, deflexão da ferramenta, erros na movimentação dos eixos da máquina-ferramenta, dentre inúmeros outros fatores (STEPHENSON e AGAPIOU, 1996).

Figura 11 - Superfície Usinada no Fresamento Frontal

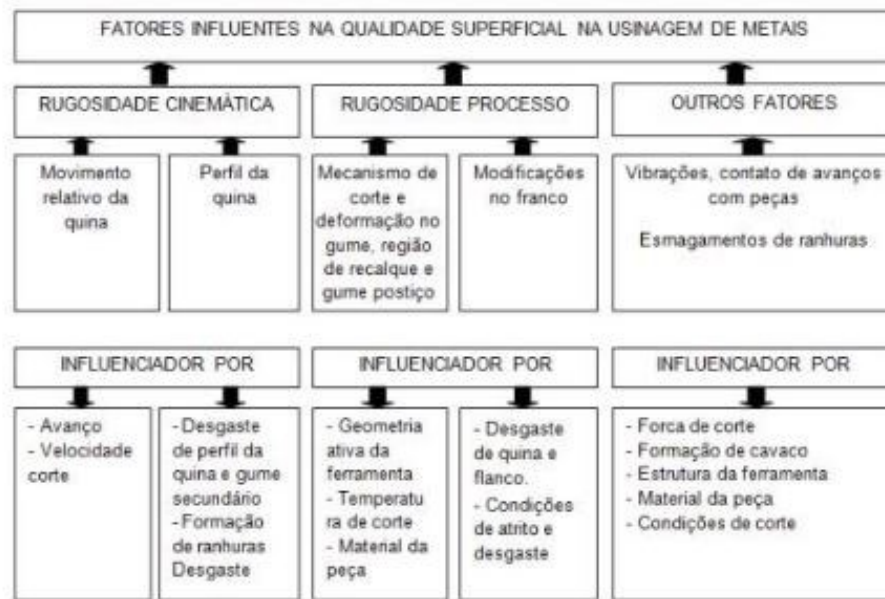


Fonte: Adaptado Machado et al. (2009).

2.4.3 Fatores que Influenciam na Qualidade Superficial

A qualidade obtida na superfície usinada pode ser um critério para determinação dos parâmetros de entrada. Os fatores influentes na rugosidade estão relacionados na Figura 12.

Figura 12 - Fatores que Influenciam na Qualidade Superficial



Fonte – Weingaertner, Schroeter (1991).

2.5 FLUIDOS DE CORTE

Cada vez mais vem sendo realizados estudos quanto a utilização dos fluidos de corte na indústria metal mecânica. Estes, vem sendo aderidos ao processo de usinagem com o intuito de melhorar as características que são consequências desse processo. O fluido de corte pode ser aplicado entre a interface de contato entre ferramenta – cavaco -peça (SOKOVIC, 2001).

Os fluidos de corte podem atuar como lubrificantes ou ainda como refrigerantes. Isso vai depender das velocidades de corte empregadas no processo. Quando temos baixas velocidades, este realiza a função de lubrificar, ao passo que a altas velocidades de corte, apresenta características refrigerantes. Ainda, temos outra função secundária que é a retirada do cavaco da zona de corte protegendo assim a ferramenta e a peça da ação da corrosão atmosférica (SANTOS, S.C. et. al., 2003).

De forma geral, os benefícios que eles podem proporcionar, estão listados a seguir:

- Aumento da vida útil da ferramenta pela lubrificação e refrigeração (diminuição da temperatura);
- Redução das forças de corte devido a lubrificação e conseqüentemente redução de potência;

- Melhora do acabamento superficial;
- Fácil remoção do cavaco da zona de corte;
- Menor distorção pela ação da ferramenta (controle dimensional da peça).

Hoje no mercado, encontram-se lubrificantes sólidos, líquidos e gasosos.

Por ser extremamente versátil, a forma mais utilizada dos fluidos de corte são os líquidos. Enquanto o lubrificante líquido pode realizar a função de lubrificante e refrigerante, os fluidos gasosos só podem refrigerar e os sólidos somente lubrificar. Isto posto, fica evidente o motivo pelo qual os fluidos líquidos são mais utilizados.

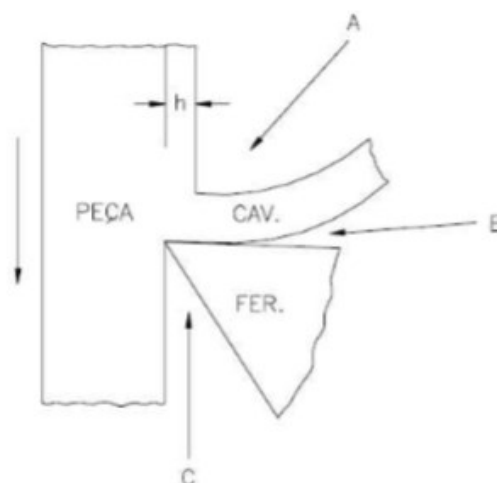
Analisando a composição dos fluidos de corte, vemos que ele pode ser a base de água ou a base de óleo. Os que assumem função de refrigerantes possuem maior quantidade de água e por esse motivo refrigeram mais que os que tem uma maior porcentagem de óleo em sua composição que por sua vez lubrificam muito mais quando comparado ao primeiro.

Vale lembrar que baixas velocidades de corte, a refrigeração é relativamente sem importância enquanto que a lubrificação é importante para reduzir o atrito e evitar o aparecimento de aresta postiça de corte – APC.

No que diz respeito às técnicas e ao método de aplicação, existem três principais direções:

- Jorro a baixa pressão (A);
- Pulverização (C);
- Sistema à alta pressão (B).

Figura 13 - Direções de aplicação do fluido de corte



Fonte - Gonçalves et al. (2010).

Segundo Gonçalves et al. (2010), o primeiro sistema é o mais utilizado pela sua simplicidade. O método de pulverização possibilita uma maior penetração no sistema e o emprego de maiores velocidades. O terceiro método exige maiores cuidados e investimentos para instalação desse tipo de lubrificação, porém bons resultados foram obtidos utilizando esse sistema.

Atualmente, na tentativa de reduzir custos e atender as normas ambientais, tem-se observado a necessidade de reduzir o consumo de fluido de corte. A técnica de aplicação de mínima quantidade de lubrificante MQL, tem sido objeto de muitas pesquisas. Nessa técnica o fluido é aplicado em volumes muito baixos chegando a 10 ml/h. Normalmente, eles são aplicados juntamente com um fluxo de ar (método de pulverização).

2.6 PADRONIZAÇÃO

Devido a presença da globalização no cenário industrial, para que uma empresa se mantenha competitiva no mercado, ela necessariamente deverá ter um sistema de produção padronizado.

Segundo Arantes (1998), o conceito de padronizar é “planejar o padrão, executar conforme o padrão, verificar a eficácia e eficiência do padrão, treinamento e melhorar os passos anteriores sempre que possível”. Tendo este conceito em vista,

fica evidente a necessidade de um planejamento para que se obtenha um modelo a ser seguido para executar tarefas e posteriormente realizar o registro delas.

Para Almeida (2009), quando um processo é padronizado, é possível obter uma forma de controlar a sua qualidade, através de uma análise continua. Sendo assim, sempre que necessário pode-se replanejar todo o processo para se ter resultados sempre favoráveis em manter a empresa competitiva no mercado.

De acordo com Porter (1997, p. 91), "uma das formas de obter uma vantagem competitiva em relação aos concorrentes é adotar uma estratégia de custos baixos". Isto exige que as empresas vigiem com muito cuidado todos seus gastos com custos para oferecer produtos competitivos.

A folha de processo é uma forma de se obter a padronização do processo. Com ela, é possível descrever detalhadamente os passos a serem seguidos no processo, as ferramentas a serem utilizadas, as máquinas que estarão presentes no processo e a matéria prima empregada (JUNIOR et al. 2006).

2.7 PLANEJAMENTO DO PROCESSO (PP)

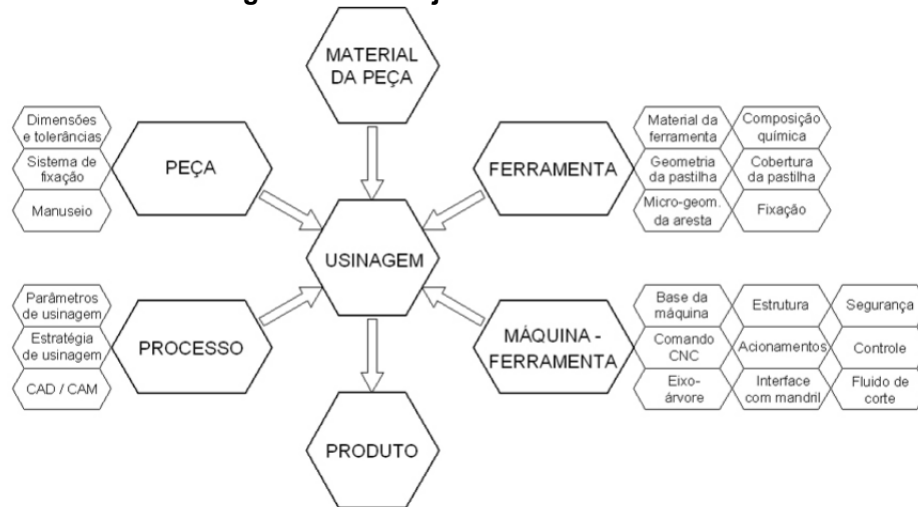
O planejamento do processo é a conexão entre a etapa de projeto e a de fabricação em si de um determinado produto. O PP estabelece uma sequência de operação, seleciona máquinas e ferramentas, determina tolerâncias dimensionais e estipula parâmetros do processo.

A etapa de projeto é de suma importância para o sucesso do produto, pois é nesta que se analisa o que será projetado enquanto que na fase do planejamento da fabricação o questionamento a ser feito é como será produzido.

Para o desenvolvimento de um produto, temos diversas fases a serem cumpridas e qualquer alteração que seja realizada nestas etapas, influenciam diretamente no resultado final.

O diagrama da Figura 14, mostra cada ponto a ser estudado para se ter um planejamento do processo para a usinagem como um todo.

Figura 14 - Planejamento do Processo



Fonte – Rozenfeld et al. (2006).

Sabe-se que o processo de usinagem foi por muito tempo algo extremamente manual, que dependia inteiramente da capacidade do profissional que estava operando a máquina. Com isso, obter um processo padronizado e assim manter competitividade no mercado era uma missão muito difícil.

A partir dessa necessidade, surge a otimização do processo através do controle das máquinas de forma virtual. Esse fato faz com que cada vez menos o resultado final da peça dependa do colaborador, de suas habilidades ou quaisquer eventuais problemas que envolvam este.

O planejamento de processo assistido por computador (CAPP) é responsável pela ligação dos dados do desenho assistido por computador (CAD) e de fabricação CAM (Manufatura Auxiliada por Computador). O CAPP é uma ferramenta fundamental para o aumento da competitividade da empresa, minimizando falhas, erros de projeto e retrabalho.

Através do CAPP, é possível determinar como o projeto será feito no sistema de manufatura. Além disso, sem um bom CAPP transformar a informação de projeto em manufatura, é uma missão impossível (FERREIRA, 2005).

Sendo assim, surge o CAM, um sistema computacional que tem como objetivo auxiliar a manufatura, fazendo o gerenciamento e controle das operações usadas na produção como por exemplo o CNC (Controle Numérico Computadorizado).

O CAD surgiu como instrumento de auxílio a descrição de peças geométricas e manipulação de desenhos em terminais gráficos monocromáticos, aumentando a produtividade de desenhos técnicos (SOUZA e COELHO, 2003). Assim, o desenho técnico permite a confecção de um produto idealizado com maior rapidez e confiabilidade.

2.8 CUSTEIO

Visto que diversas micro e pequenas empresas não realizam o controle de custos, diversos estudos atribuem a causa deste problema à dificuldade de encontrar material acessível, de fácil entendimento e que associem a teoria com a prática de maneira que o gestor da empresa consiga aplicar uma metodologia e obter bons resultados.

Segundo Crepadi (2019), cada empresa possui suas características bem particulares, assim para cada uma delas um sistema de custeio pode ser aplicado levando em conta as atividades que essa realiza e quais as necessidades gerenciais. A partir disso, é possível realizar uma análise de custo benefício do sistema adotado.

Neste trabalho, foram levantados quatro métodos de custeio, sendo eles:

- Custeio por Absorção;
- Custeio Variável,
- Custeio Baseado em Atividades;
- Custeio por Departamentalização.

O Custeio por absorção é um método que absorve todos os custos fixos da produção e agrega esse valor ao custo final do produto. Dessa maneira, fica evidente que cada volume produzido incorpora uma parcela do custo direto e outra do custo indireto da produção.

Esse método, pode ser aplicado com a finalidade de demonstrações financeiras. Segundo Martins (2008, p. 37, 9º ed.), “custeio por absorção é o método derivado da aplicação dos princípios de contabilidade geralmente aceitos, [...] consiste na apropriação de todos os custos de produção, [...] e todos os gastos relativos ao esforço de produção.”.

No Custeio Variável, é fundamental compreender que existe a necessidade de separar os custos fixos dos custos variáveis visto que para essa metodologia, existem certos custos que independem da produção.

Segundo Bornia (2009), considera-se apenas os custos variáveis com o valor da produção do produto, pois os custos fixos são considerados como custos de um período. Assim, é necessário realizar a separação em gastos que variam proporcionalmente ao volume de produção e gastos que se mantêm estáveis.

O custeio baseado em atividades também é conhecido como *Activity Based Costing*, ou também como Método de Custeio ABC. Conforme define Ferreira (2007, p. 186), “o sistema de custos ABC é um sistema de custeio que se baseia nas atividades dos processos de produção.”. Nesse método, separa-se os custos diretos e indiretos da produção.

Os custos diretos são transferidos diretamente aos produtos, e os custos indiretos, são divididos entre as atividades da empresa analisando cada um dos processos envolvidos.

A departamentalização consiste na divisão dos setores dentro de uma organização. O objetivo é agrupar cada uma das atividades de forma que os custos que envolvem uma mesma atividade se unam, favorecendo a contabilidade de custos.

Para Martins (2008, p. 65, 9º ed.), departamento é a “unidade mínima administrativa para a Contabilidade de Custos, representada por pessoas e máquinas, em que se desenvolvem atividades homogêneas”.

3 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)

Através da necessidade de se obter padronização, torna-se necessário estabelecer critérios para utilização de diferentes parâmetros de usinagem a fim de atender diversas exigências estabelecidas entre cliente e indústria.

Visto que o trabalho trata-se de um estudo de caso, o objeto em estudo é uma peça para uma máquina agrícola fabricada em alumínio que já é confeccionada na empresa (Figura 15). Através de diversas visitas realizadas estreitou-se as relações para que o trabalho seja fielmente reproduzido, dando assim, maior confiabilidade aos cálculos do custeio envolvidos na fabricação.

Figura 15 - Desenho da peça produzida



Fonte – Disponibilizado pela empresa (2019)

Sendo assim, a metodologia desenvolvida baseia-se na execução de doze canais através de quatro diferentes ferramentas apropriadas para realizar fresamento de topo. Após a confecção destes canais, com o auxílio de um rugosímetro, mede-se a rugosidade de cada um deles e realiza-se duas peças utilizando os parâmetros do melhor e do pior caso de rugosidade. Tendo em mãos todos os dados do processo, realiza-se por fim uma metodologia para o custeio da fabricação de uma peça.

A metodologia deste trabalho é dividida em duas partes. No item 3.1 encontra-se a parte experimental, já no item 3.2 apresentaremos o método empregado para análise dos custos.

3.1 EXPERIMENTAL

Para iniciar a fase de testes, foi realizado um planejamento prévio para que não houvesse custos desnecessários e que todos os materiais utilizados e escolhas relacionadas ao fresamento do material fossem feitas de maneira condizente a literatura. Torna-se essencial explicitar que antes da escolha do material, foi realizado uma análise cuidadosa quanto aos parâmetros (discutido no item 3.1.2) que serão utilizados e a compatibilidade entre as ferramentas e o material a ser usinado.

3.1.1 Lista de Seleção dos Materiais

O material a ser fresado será um *blank* em liga de alumínio naval 5083-H111 com dimensões 600x150x32 mm cujas propriedades estão descritas no capítulo 2 deste trabalho. A escolha dessas dimensões deve-se ao fato de que no mesmo *blank* serão realizados os canais de teste para melhor estratégia bem como as peças que serão analisadas.

A usinagem será realizada com uma máquina fresadora ROMI D800 (Figura 16) e um único colaborador da empresa.

Figura 16 - Máquina utilizada para o fresamento



Fonte - Catálogo Linha D ROMI (2019)

O fluido de corte utilizado no processo é o Southcool SS Pront do fabricante SouthQuim. Será empregada a técnica de jorro, na direção sobre cabeça.

As ferramentas escolhidas mantiveram o diâmetro de 10 mm, variando apenas a marca e o número de arestas de corte conforme a Figura 17. A escolha por essas marcas deve-se à disponibilidade no mercado.

Figura 17 - Fresas de topo reto utilizadas



Fonte- Autoria própria (2019)

Assim, tabulou-se os materiais que seriam necessários para a empresa adquirir para que os testes fossem realizados conforme a Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Planejamento do material a ser adquirido pela empresa


ITENS UTILIZADOS	
ITEM	QUANTIDADE
Blank alumínio	8,054 (Kg)
Fresa Widia - metal duro - 2 cortes	1 (un)
Fresa Widia – metal duro- 4 cortes	1 (un)
Fresa Indaço – HSS- 2 cortes	1 (un)
Fresa Indaço – HSS - 4 cortes	1 (un)
Lubrificante Southcool	40 (l)

Fonte – Autoria própria (2019)

3.1.3 Definição dos Parâmetros de Usinagem

Inicialmente, foi pesquisado nos catálogos de fabricantes das ferramentas utilizadas quais eram os parâmetros recomendados por eles conforme a Figura 18. Tendo isso em vista, realizou-se uma tabela com as estratégias seguindo o catálogo e o conhecimento das autoras quanto aos resultados esperados do fresamento.

Figura 18 - Variáveis de corte segundo recomendações do fabricante



INDAÇO 1501 - FRESA DE TOPO - DIN 844 A N - M2

Material a ser usinado	SAE 1006		SAE 1030		SAE 1045		SAE 4140		Alumínio		
	SAE 1010		SAE 1040		SAE 1060		SAE 4340				
	SAE 1020		SAE 8620		SAE 8640		SAE 52100				
	SAE 1025		SAE 4320		SAE 5140						
Dureza do material a ser usinado	Menor 200 HB (Brinell)		220 HB (Brinell)		220~290 HB (Brinell)		290~380 HB (Brinell)				
			~20 Hrc (Rockwell C)		20~30 Hrc (Rockwell C)		30~40 Hrc (Rockwell C)				
Resistência Mecânica	500 N/mm ²		500-800 N/mm ²		800-1000 N/mm ²		1000-1300 N/mm ²				
Ø	Rotação		Rotação		Rotação		Rotação		Rotação		
	mm	rpm	rpm	mm/min	rpm	mm/min	rpm	mm/min	rpm	mm/min	
	3	3080	100	2800	70	2200	55	1400	25	9680	335
	5	1950	160	1600	110	1400	80	790	45	5550	415
	8	1230	175	970	140	790	90	490	60	3520	510
	10	970	175	790	140	700	105	400	60	2730	530
	12	790	195	700	160	550	105	350	65	2200	500
	14	700	195	615	140	490	105	310	65	1950	465
	16	615	195	490	140	400	90	245	60	1760	465
Dados de corte da ferramenta	18	550	175	440	140	350	90	220	60	1580	465
	20	490	175	395	140	350	90	200	60	1400	420
	22	440	175	395	140	310	90	200	60	1250	400

Fonte - Catálogo INDAÇO – Fresas de Topo

Em conversa com o engenheiro responsável pela empresa, verificou-se que estas variáveis são extremamente conservadoras e tornariam o processo desvantajoso, nada competitivo e fora da realidade da produção de qualquer empresa do setor. Isto exposto, elaborou-se uma nova estratégia que condissesse com a realidade da indústria conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Variáveis de corte utilizadas para confecção dos canais

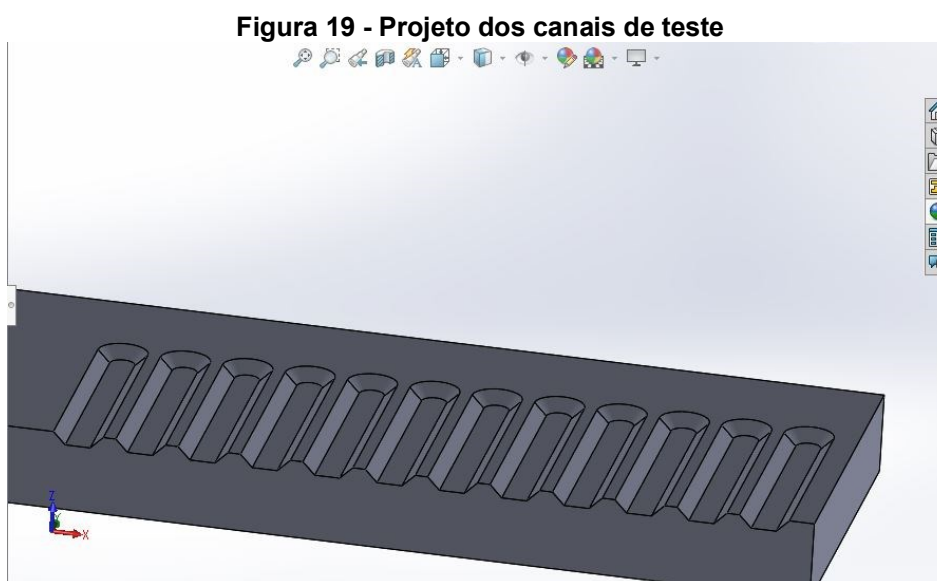
AMOSTRA	MATERIAL	VARIÁVEL	ESTRATÉGIA		
A11 *	WIDIA 5873510 Ferramenta H1	ap (mm)	0,05		
		vf(mm/min)	1000		
		n (rpm)	4000		
		vc (m/min)	125,6		
A12 **		WIDIA 5873510 Ferramenta H1	ap (mm)	0,15	
			vf (mm/min)	1000	
			n (rpm)	4000	
			vc (m/min)	125,6	
A13 ***			WIDIA 5873510 Ferramenta H1	ap (mm)	0,25
				vf (mm/min)	1000
				n (rpm)	4000
				vc (m/min)	125,6
A21 *	WIDIA 5826040 Ferramenta H2			ap (mm)	0,05
				vf (mm/min)	1000
				n (rpm)	4000
				vc (m/min)	125,6
A22 **		WIDIA 5826040 Ferramenta H2		ap (mm)	0,15
				vf (mm/min)	1000
				n (rpm)	4000
				vc (m/min)	125,6
A23 ***			WIDIA 5826040 Ferramenta H2	ap (mm)	0,25
				vf (mm/min)	1000
				n (rpm)	4000
				vc (m/min)	125,6
A31 *	INDAÇO 1501 DIN 844 Ferramenta H3			ap (mm)	0,05
				vf (mm/min)	1000
				n (rpm)	1000
				vc (m/min)	31,4
A32 **		INDAÇO 1501 DIN 844 Ferramenta H3		ap (mm)	0,15
				vf (mm/min)	1000
				n (rpm)	1000
				vc (m/min)	31,4
A33 ***			INDAÇO 1501 DIN 844 Ferramenta H3	ap (mm)	0,25
				vf (mm/min)	1000
				n (rpm)	1000
				vc (m/min)	31,4
A41 *	INDAÇO 1445 DIN 327 Ferramenta H4			ap (mm)	0,05
				vf (mm/min)	1000
				n (rpm)	1000
				vc (m/min)	31,4
A42 **		INDAÇO 1445 DIN 327 Ferramenta H4		ap (mm)	0,15
				vf (mm/min)	1000
				n (rpm)	1000
				vc (m/min)	31,4
A43 ***			INDAÇO 1445 DIN 327 Ferramenta H4	ap (mm)	0,25
				vf (mm/min)	1000
				n (rpm)	1000
				vc (m/min)	31,4

Fonte - Autoria própria (2019).

As variáveis de corte serão combinadas de forma a apresentar as diferentes estratégias. A partir disso, para cada parâmetro estabelecido será realizado um canal teste.

3.1.4 Execução dos Canais Teste

Com estes determinados, foi realizado o CAD contendo o projeto dos canais a serem realizados. Determinou-se realizar uma angulação de 45° na abertura de cada canal para que a análise da rugosidade correspondesse com a realidade do fresamento. Se o canal fosse retangular, não estaríamos medindo a rugosidade gerada pela aresta de corte, mas sim pela lateral da fresa, conforme mostra a Figura 19.



Fonte - Autoria própria (2019).

Isso definido, a empresa disponibilizou o CAM para realizar os canais utilizando os parâmetros e estratégias definidas no item 3.1.3 para desenvolvê-lo.

Foi medido o tempo de execução de cada canal de duas formas diferentes, a primeira através dos valores dados pela ROMI D800 e através de cronometro. Como os valores encontrados foram iguais, foi utilizado apenas o gerado pela máquina por conta da praticidade e maior confiabilidade.

3.1.5 Medidas de Rugosidade

Com o auxílio do rugosímetro marca Homis modelo TR-220 Time, Figura 20, foi medido a rugosidade de cada um dos 12 canais. Devido a geometria do canal, para que fosse possível realizar as medidas necessárias, encontrou-se a necessidade de adaptar um suporte de maneira que o equipamento ficasse nivelado com a superfície que estava sendo medida. As medidas foram realizadas seguindo a norma para o equipamento.

Figura 20 – Rugosímetro TR220



Fonte – A autoria própria (2019).

Com esses resultados tabulados - Tabela 4, realizou-se uma análise cuidadosa através da comparação dos valores do Ra e com base nisso, dar-se-á a confecção da peça, Figura 15, utilizando o menor valor de rugosidade.

Para que fique claro para o leitor, será considerado apenas o parâmetro Ra de rugosidade pois este é o mais utilizado quando o cliente entra em contato com a indústria para estabelecer os critérios e exigências de projeto.

3.1.6 Confecção da peça

A peça foi confeccionada com a ferramenta Widia 2 cortes, com as variáveis do programa 167, estratégia A11 ($n=4000$ rpm, $f= 1000$ mm/min, $ap=0,05$) pois esse foi o menor valor encontrado da rugosidade Ra (ver Tabela 4). Todas as etapas de fabricação da peça serão acompanhadas e registradas pelas autoras para a tabulação do tempo envolvido durante o processo.

3.2 ANÁLISE DE CUSTOS

Esta pesquisa foi elaborada visando propor a implantação de um método de custeio para a formação do custo do processo de usinagem – fresamento, prestado por uma empresa localizada no Sudoeste do Paraná. Para isso, foram analisados os principais fatores, serviços e produtos da organização. O tipo de sistema produtivo da empresa pode ser classificado como:

- Pelo grau de padronização dos produtos: sob encomenda;
- Pelo tipo de operações: em lotes e por projeto;
- Pela natureza do produto: serviço.

O sistema é sob encomenda, pois depende do pedido do cliente para a produção; em lotes, por prestar serviços de usinagem em geral e por projetos, é uma empresa prestadora de serviços.

3.2.1 Análise do Material Direto

Como já visto anteriormente, material direto é todo material utilizado diretamente no processo de fabricação do produto ou serviço, como por exemplo matéria prima.

Consideraremos as novas dimensões 295x150x32 (mm) do *blank* que foi utilizado para a confecção da peça. Esse novo tamanho deve-se ao fato de que o *blank* foi solicitado tanto para realizar a peça que está sendo analisado o custo, quanto para a análise dos canais para a verificação das estratégias utilizadas.

Como iremos analisar somente o material utilizado durante a fabricação da peça, foi descontado a área utilizada para realizar a parte dos canais para ser fiel ao valor da matéria prima que está sendo empregada. Assim, a Tabela 5 mostra a quantidade e valores de todos os itens que foram utilizados para a execução da peça.

Também deve-se citar que foi realizado o cálculo da vazão do lubrificante durante o processo pois é necessário para o cálculo da quantidade de lubrificante que será utilizado durante o processo. Este foi realizado através dos dados do catálogo da fresadora ROMI D 800.

Vale lembrar que a peça será realizada com apenas uma das ferramentas listadas na Tabela 5 e que a quantidade de lubrificante irá variar conforme o tempo de usinagem.

Tabela 5- Matéria prima envolvida na fabricação da peça

MATERIAL RESTANTE PARA FABRICAÇÃO DA PEÇA			
ITEM	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
Blank alumínio	5,31(Kg)	(R\$/Kg) 23,63	
Fresa Widia 2 cortes	1 (un)	(R\$/un) 111,61	
Fresa Widia 4 cortes	1 (un)	(R\$/un) 111,61	
Fresa Indaço 2 cortes	1 (un)	(R\$/un) 47,07	
Fresa Indaço 4 cortes	1 (un)	(R\$/un) 45,15	
Lubrificante Southcool	(l)	(R\$/l) 15,70	

Fonte – Autoria própria (2019).

Somando-se todos esses itens pode-se realizar o custo total de matéria prima considerando os itens utilizados diretamente na produção.

3.2.2 Custos da Mão de Obra Direta

A mão de obra direta, como já citado anteriormente, é aquela relativa ao pessoal que trabalha diretamente com o produto fabricado ou serviço prestado. A empresa conta com dois responsáveis pela parte operacional (programação da máquina), porém para a realização dessa peça apenas um desses colaboradores é utilizado em todo o processo.

As atividades da empresa são desenvolvidas de segunda a sexta feira em um regime de 8 horas. O custo hora pode ser observado através da tabela 6 que foi disponibilizada pela empresa. Esse custo está baseado no valor do salário incluindo os encargos e benefícios, dividido pelo produto de dias trabalhados no mês por horas trabalhadas.

Tabela 6- Cálculo da hora do operador

CUSTO HORA DO OPERADOR		
Operador 1	(R\$/h)	7,73

Fonte – Autoria própria (2019)

Para podermos calcular o valor do custo da mão de obra diretamente ligada ao processo, temos que vincula-la ao seu tempo de usinagem. Assim, através do custo hora do operador calculado na tabela acima, multiplicado pelo número de horas necessárias para usinagem da peça, obtemos um custo da mão de obra do operador para fabricar especificamente essa peça conforme a Tabela 7.

Tabela 7- Cálculo da hora do operador para fabricar uma peça

CUSTO HORA PARA PEÇA	
Operador 1	(R\$/h) 7,73
Tempo de usinagem	
Total	

Fonte - Autoria própria (2019).

O tempo de usinagem do processo é calculado através de uma planilha elaborada no EXCEL que conta com as entradas do processo e entrega como resultado as principais variáveis do fresamento tais como Taxa de Remoção de Material-TRM, tempo esperado de usinagem, Velocidade de corte vc.

Além do operador da máquina propriamente dito, temos que incluir também o valor do projeto do CAM realizado por um colaborador externo a empresa. O valor unitário do projeto encontra-se na Tabela 8.

Tabela 8- Custo do projeto CAM

CUSTO DO CAM	
Programador CAM	(R\$/un) 50,00

Fonte - Autoria própria (2019).

Somando-se todos esses itens pode-se realizar o custo total da mão de obra direta considerando os esforços utilizados diretamente na produção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão mostrados em dois itens distintos para que assim fique mais claro para o leitor tanto os resultados obtidos através das análises da rugosidade quanto da metodologia do custeio.

No item 4.1 será discutido a análise dos resultados dos canais, analisando a rugosidade, a estratégia e o tempo de usinagem.

No item 4.2 será demonstrado os cálculos feitos para se obter o valor do custo da produção de uma peça.

4.1 Análise dos testes experimentais

A Tabela 4 mostra o resultados da rugosidade apresentados nos doze canais realizados.

Tabela 4 – Dados da rugosidade obtida no fresamento dos canais

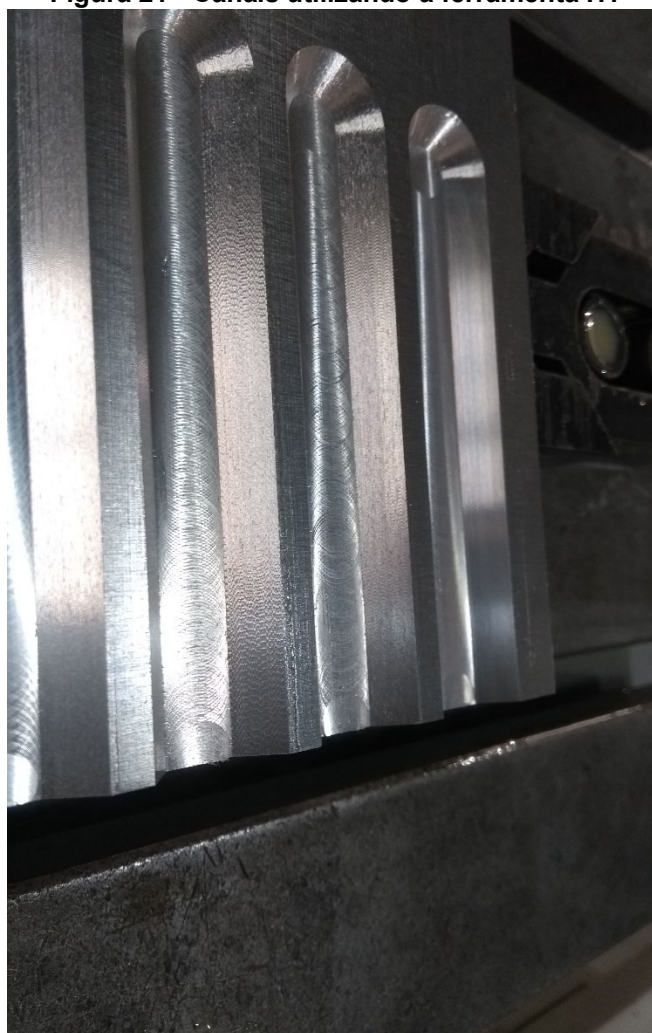
DADOS DE TESTE							
AMOSTRA	MATERIAL	VARIÁVEL	ESTRATÉGIA	TEMPO (MIN)	RUGOSIDADE (μm)		
A11 *	WIDIA 5873510 Ferramenta H1	ap (mm)	0,05	21,98	Ra= 0,473		
		vf (mm/min)	1000				
		n (rpm)	4000				
		vc (m/min)	125,6				
A12 **		WIDIA 5873510 Ferramenta H1	ap (mm)	0,15	8	Ra= 1,324	
			vf (mm/min)	1000			
			n (rpm)	4000			
			vc (m/min)	125,6			
A13 ***			WIDIA 5873510 Ferramenta H1	ap (mm)	0,25	4,73	Ra= 1,516
				vf (mm/min)	1000		
				n (rpm)	4000		
				vc (m/min)	125,6		
A21 *	WIDIA 5826040 Ferramenta H2			ap (mm)	0,05	21,93	Ra= 0,709
				vf (mm/min)	1000		
				n (rpm)	4000		
				vc (m/min)	125,6		
A22 **		WIDIA 5826040 Ferramenta H2		ap (mm)	0,15	8	Ra= 0,982
				f (mm/min)	1000		
				n (rpm)	4000		
				vc (m/min)	125,6		
A23 ***			WIDIA 5826040 Ferramenta H2	ap (mm)	0,25	4,72	Ra= 1,199
				vf (mm/min)	1000		
				n (rpm)	4000		
				vc (m/min)	125,6		
A31 *	INDAÇO 1501 DIN 844 Ferramenta H3			ap (mm)	0,05	21,95	Ra= 5,525
				vf (mm/min)	1000		
				n (rpm)	1000		
				vc (m/min)	31,4		
A32 **		INDAÇO 1501 DIN 844 Ferramenta H3		ap (mm)	0,15	7,98	Ra= 7,481
				vf (mm/min)	1000		
				n (rpm)	1000		
				vc (m/min)	31,4		
A33 ***			INDAÇO 1501 DIN 844 Ferramenta H3	ap (mm)	0,25	4,72	Ra= 8,952
				vf (mm/min)	1000		
				n (rpm)	1000		
				vc (m/min)	31,4		
A41 *	INDAÇO 1445 DIN 327 Ferramenta H4			ap (mm)	0,05	21,9	Ra= 5,898
				vf (mm)	1000		
				n (rpm)	1000		
				vc (m/min)	31,4		
A42 **		INDAÇO 1445 DIN 327 Ferramenta H4		ap (mm)	0,15	8	Ra= 6,647
				vf (mm/min)	1000		
				n (rpm)	1000		
				vc (m/min)	31,4		
A43 ***			INDAÇO 1445 DIN 327 Ferramenta H4	ap (mm)	0,25	4,73	Ra= 6,852
				vf (mm/min)	1000		
				n (rpm)	1000		
				vc (m/min)	31,4		

Fonte – Autoria própria (2019)

A estratégia utilizada para a realização dos 6 primeiros canais consistiu em variar o valor da profundidade de corte mantendo fixo a velocidade de avanço e a velocidade de corte. As ferramentas H1 e H2 que realizaram o fresamento destes canais são da marca Widia, possuem dois ou quatro cortes respectivamente e ambas são de metal duro.

Analisando o desempenho da ferramenta H1, é possível verificar que quando aumenta-se o valor do a_p , a rugosidade também aumenta influenciando diretamente no acabamento superficial do canal. Conforme Figura 21.

Figura 21 - Canais utilizando a ferramenta H1



Fonte: Autoria própria (2019).

Ainda seguindo o mesmo critério, o valor da rugosidade utilizando a ferramenta H2 também apresentou valores de rugosidade R_a menores conforme o aumento da profundidade de corte (a_p).

Com relação a influência do número de arestas de corte, verificou-se que a ferramenta H2 entregou menores variações com relação a rugosidade.

Ainda, analisando o acabamento superficial, embora a variação da rugosidade seja maior utilizando a ferramenta H1, verifica-se o melhor resultado de acabamento utilizando essa ferramenta.

Quando compara-se os resultados obtidos da ferramenta H1 com a ferramenta H4, destaca-se o aumento considerável da rugosidade Ra. Observando a Tabela 9, podemos explicitar de maneira mais visível o que ocorre.

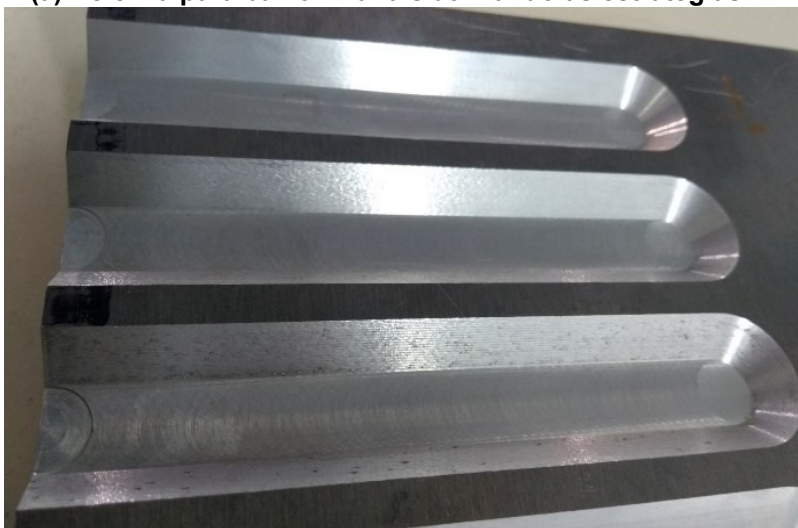
Tabela 9 – Comparação da rugosidade entre as ferramentas H1 e H4

AMOSTRA	MATERIAL	VARIÁVEL	ESTRATÉGIA	RUGOSIDADE (μm)		
A11 *	WIDIA 5873510 Ferramenta H1	ap (mm)	0,05	Ra= 0,473		
		Vf (mm/min)	1000			
		n (rpm)	4000			
		vc (m/min)	125,6			
A12 **		WIDIA 5873510 Ferramenta H1	ap (mm)	0,15	Ra= 1,324	
			vf (mm/min)	1000		
			n (rpm)	4000		
			vc (m/min)	125,6		
A13 ***			WIDIA 5873510 Ferramenta H1	ap (mm)	0,25	Ra= 1,516
				vf (mm/min)	1000	
				n (rpm)	4000	
				vc (m/min)	125,6	
A41 *	INDAÇO 1445 DIN 327 Ferramenta H4			ap (mm)	0,05	Ra= 5,898
				vf (mm/min)	1000	
				n (rpm)	1000	
				vc (m/min)	31,4	
A42 **		INDAÇO 1445 DIN 327 Ferramenta H4		ap (mm)	0,15	Ra= 6,647
				vf (mm/min)	1000	
				n (rpm)	1000	
				vc (m/min)	31,4	
A43 ***			INDAÇO 1445 DIN 327 Ferramenta H4	ap (mm)	0,25	Ra= 6,852
				vf (mm/min)	100	
				n (rpm)	1000	
				vc (m/min)	31,4	

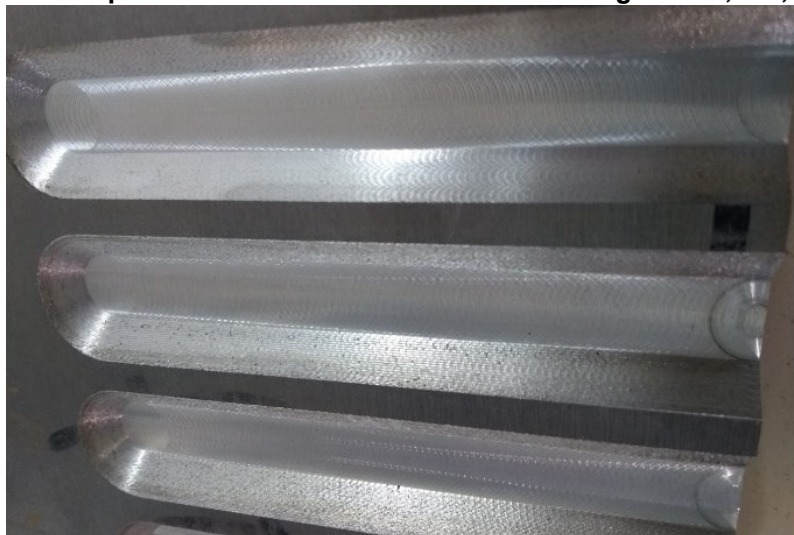
Fonte: Autoria própria (2019).

Observando a estratégia utilizada, teremos uma diminuição da velocidade de corte porém os valores de ap e Vf são mantidos constantes quando comparados amostra por amostra (A11 com A41). Nessas amostras pode-se verificar a influência direta da velocidade de corte no acabamento superficial conforme Figuras 22 (a) e (b).

Figura 22 - (a) De cima para baixo - Canais utilizando as estratégias A11, A12, A13



(b) De cima para baixo - Canais utilizando as estratégias A41, A42, A43.



Fonte - Autoria própria (2019).

Comparando os resultados das ferramentas H2 com H3, podemos verificar que com a diminuição da rotação e da velocidade de corte temos um aumento significativo na rugosidade Ra. Isso pode ser observado na Tabela 10 bem como nas Figuras 23 (a) e (b).

Tabela 10- Comparação dos resultados de rugosidade entre as ferramentas H2 e H3

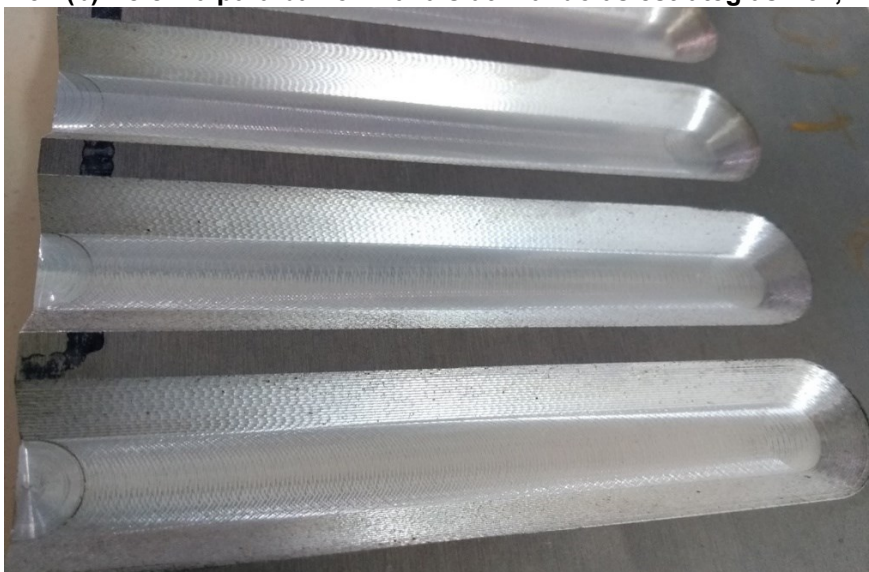
A21 *	WIDIA 5826040 Ferramenta H2	ap (mm)	0,05	Ra= 0,709		
		vf (mm/min)	1000			
		n (rpm)	4000			
		vc (m/min)	125,6			
A22 **		WIDIA 5826040 Ferramenta H2	ap (mm)	0,15	Ra= 0,982	
			Vf (mm/min)	1000		
			n (rpm)	4000		
			vc (m/min)	125,6		
A23 ***			WIDIA 5826040 Ferramenta H2	ap (mm)	0,25	Ra= 1,199
				vf (mm/min)	1000	
				n (rpm)	4000	
				vc (m/min)	125,6	
A31 *	INDAÇO 1501 DIN 844 Ferramenta H3			ap (mm)	0,05	Ra= 5,524
				vf (mm/min)	1000	
				n (rpm)	1000	
				vc (m/min)	31,4	
A32 **		INDAÇO 1501 DIN 844 Ferramenta H3		ap (mm)	0,15	Ra= 7,481
				f (mm/min)	1000	
				n (rpm)	1000	
				vc (m/min)	31,4	
A33 ***			INDAÇO 1501 DIN 844 Ferramenta H3	ap (mm)	0,25	Ra= 8,952
				vf (mm/min)	1000	
				n (rpm)	1000	
				vc (m/min)	31,4	

Fonte – Autoria própria (2019)

Figura 23 - (a) De cima para baixo - Canais utilizando as estratégias A21, A22, A23



Figura 23 - (b) De cima para baixo - Canais utilizando as estratégias A31, A32, A33



Fonte – Aatoria própria (2019).

Da literatura, sabemos também que aumentando a velocidade de corte e diminuindo avanço e profundidade de corte, teremos uma estratégia de acabamento. Isso também pode ser verificado comparando as amostras da Tabela 10.

As autoras deste trabalho esperavam que o aumento de número de arestas cortantes reduzisse o tempo para a produção do canal, porém isso não ocorreu conforme pode ser observado comparando os resultados da ferramenta H1 e H2.

Para todas as ferramentas analisadas, nota-se que o tempo para realização do processo está diretamente ligado a variação da profundidade de corte. Isso quer dizer que, apesar do aumento da rotação e da velocidade de avanço elas não causaram impacto no que diz respeito ao período de fabricação. Nota-se que quanto mais alto for o valor da profundidade de corte, menor será o tempo de execução e por consequência, pior será o acabamento superficial.

Por fim, sabemos que fatores como o desgaste de ferramenta, também podem interferir no acabamento quando se trata de usinagem em alumínio. No entanto, isso se torna difícil de acontecer em matérias de baixa dureza.

Segundo Costa et al. (2006), o avanço e a profundidade de corte influenciam na taxa de remoção de material, gerando uma maior transferência de calor, podendo trazer resultados não esperados no acabamento superficial. Esse é um dos motivos pelos quais as variáveis de corte são importantíssimas durante o processo do fresamento.

4.2 Custo Para a Produção da Peça

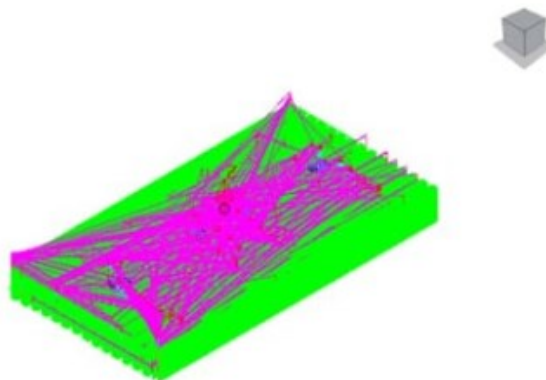
Para realizar o cálculo dos custos envolvidos na produção da peça que é o objeto do estudo, determinou-se que realizaríamos o custo da peça para o melhor valor da rugosidade encontrada.

O motivo pelo qual foi decidido este critério deve-se ao fato de que para a produção desta estaríamos analisando o maior tempo envolvido no processo. Assim sendo, esses resultados que serão apresentados, estão baseados na ferramenta H1, estratégia A11 cujo todos valores e parâmetros utilizados são encontrados na Tabela 4.

Isto posto, foi realizado a simulação no CAM para verificar qual seria o tempo que demandaria para realizar o fresamento dessa peça mantendo a ferramenta e os parâmetros estabelecidos. A figura 24 apresenta o resultado do tempo estimado.

Figura 24 - Tempo estimado para a produção da peça

Tolerance	0.05	Cutting Feed Rate	1000
Global Thickness	0	Plunge Feed Rate	1000
Radial Thickness	0	Rapid Feed Rate	9999
Axial Thickness	0	Spindle	4000
Stepover	5	Cutting Time	57:27:06
Stepdown	0.05	Total Time	58:50:00
Block	258,746 × 140,886 × 28,06		



Fonte: CAM (2019).

Um ponto importante a ser analisado é o número de peças que a ferramenta poderá fazer. Com isso, é necessário utilizar a vida estimada da ferramenta conforme discutido no capítulo 3 deste trabalho. O resultado é apresentado na Tabela 11 abaixo

Tabela 11 - Custo da ferramenta H1 para produzir uma peça

Ferramenta H1	
Vida estimada da ferramenta	300 (m)
Vida útil em peças	1016 (un)
Custo da ferramenta	R\$ 111,6
Custo da ferramenta por peça	R\$ 0,11

Fonte - Autoria própria (2019).

Esse custo da ferramenta por peça representa uma estimativa feita a partir dos dados do catálogo do fabricante. O valor de R\$ 0,11 centavos, representa o custo envolvido no processo tomando como base o fato que a ferramenta irá produzir 1016 unidades.

Partindo agora para os custos envolvidos com a matéria prima direta, Tabela 12, foi calculado o valor de todos os materiais utilizados para realizar o fresamento, temos:

Tabela 12 – Material utilizado conforme estratégia A11

MATERIAL PARA FABRICAÇÃO DA PEÇA USANDO A FERRAMENTA H1			
ITEM	QUANTIDADE	VALOR POR QTDE	VALOR TOTAL
Blank alumínio	5,31(Kg)	(R\$/Kg) 23,63	125,47
Fresa Widia 2 cortes	1 (un)	(R\$/peça) 0,11	0,11
Lubrificante Southcool	(l)	(R\$/l) 15,70	3,20

Fonte - Autoria própria (2019).

Analisando o tempo de operação, transformando o tempo do processo para horas, temos o total do custo que será agregado pela mão de obra do operador. A Tabela 13 mostra o valor total dessa etapa de fabricação.

Tabela 13 – Valor agregado do tempo de usinagem

CUSTO HORA PARA PEÇA	
Operador 1	(R\$/h) 7,73
Tempo de usinagem	(h) 0,975
Total	R\$ 7,53

Fonte - Autoria própria (2019).

Após isso analisado, temos um custo direto conforme a Tabela 14, que deve também ser embutido no processo já que ele é essencial para realização do processo. Para ficar claro ao leitor, o CAM é solicitado para um profissional externo a

empresa, por isso o custo com o projeto do CAM não é embutido no salário de nenhum dos demais colaboradores da empresa.

Tabela 14 – Preço do CAM

CUSTO DO CAM		
Programador CAM	(R\$/un)	50,00

Fonte - Autoria própria (2019).

Também é válido lembrar que esse valor integral estará sendo embutido no valor total dos custos pois está sendo calculado o valor unitário de uma peça. Como consideramos que esse custo é fundamental para o processo, então ele não poderá ser descartado. Vale lembrar que quando aplicado para gerar o custo para um cliente, esse valor deverá ser dissolvido pelo número de peças solicitado pelo cliente.

Após a tabulação de todos esses dados, somando-se todos eles, chegamos ao valor de custo do processo de produção uma peça conforme a Tabela 15.

Tabela 15 – Custo total do processo de fresamento com a ferramenta H1

CUSTO TOTAL DO PROCESSO	
Matéria prima	R\$128,31
Operador	R\$ 7,53
CAM	R\$ 50,00
TOTAL	R\$ 186,31

Fonte – Autoria própria (2019).

É importante ressaltar que os custos indiretos não são considerados neste trabalho pois o objetivo deste é analisar o custo do processo de fabricação e não o valor de venda.

Outro ponto que merece ser destacado é a quantidade de diferentes acabamentos que é possível obter mudando apenas alguns parâmetros, criando uma nova estratégia e obtendo como resposta, diferentes custos e tempo de processo.

5 CONCLUSÕES

A análise da rugosidade Ra de um material é complexa para se obter uma resposta exata por qual motivo ela está sendo gerada. Isso deve-se ao fato de que a rugosidade em um canal qualquer pode ser gerado tanto pelas estratégias que foram feitas para realizar o fresamento quanto por conta de vibrações e problemas na máquina.

Em geral, a rugosidade Ra piora com o aumento do avanço conforme mostrado no apêndice A bem como o crescimento do ap conforme Tabela 4.

Embora neste trabalho só tenha sido feita uma análise do melhor acabamento (combinando estratégia e ferramenta adequada), essa metodologia pode ser empregada para todas as outras estratégias. Isso será definido conforme o que o cliente estabelecer. Caso não haja necessidade de ótimos acabamentos superficiais, tem-se a opção de produzir a mesma peça utilizando diferentes parâmetros que fazem com que o processo torne-se mais rápido e por consequência mais barato. Esses critérios dependem apenas das exigências do projeto a ser fabricado.

Também é válido destacar a falta de catálogos das ferramentas que levem em consideração a análise competitiva do mercado. Hoje, os catálogos encontrados são extremamente conservadores trazendo pouca credibilidade de quem está realizando o planejamento do processo para utiliza-la como ferramenta de estudo.

O custo calculado neste trabalho foi comparado com o valor que a empresa em questão já cobrava. Com isso, estabeleceu-se um padrão de comparação e obteve-se um resultado satisfatório neste trabalho.

O material da ferramenta não interfere nos resultados, diferente do que as autoras deste trabalho previram no planejamento do processo.

Como sugestões para trabalhos futuros, sugere-se que sejam comparados o desempenho das fresas toroidais, com as de topo reto e as esféricas analisando a rugosidade gerada por elas.

Também é possível realizar, partindo do preço do processo verificado neste trabalho, uma metodologia de preço de venda da peça.

Seria de grande valia analisar os efeitos do uso de diferentes fluidos de corte e os impactos gerados na rugosidade da superfície. Também seria interessante verificar a aplicabilidade das diferentes formas de utilização dos fluidos de corte tal como a técnica MQL.

REFERÊNCIAS

ABAL. Associação Brasileira do Alumínio, 2007. **Processos de Produção**. Disponível em www.abal.org.br. Acesso em: 10 Abril 2019.

AGOSTINHO, O.L, VILELLA, R.C. e BUTTON, S.T. **Processos de Fabricação e Planejamento de Processos**. 2ª Ed. Campinas, UNICAMP, Processos Produtivos em Engenharia de Produção – Usinagem. 2004.

AGOSTINHO. O L; RODRIGUES. A C S; LIRANI, J: **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões**. Ed 2004, Editora Edgard Blucher. S Paulo.

ALMEIDA, Bruno Fernandes Oliveira de. **Método da elaboração da folha de processos em sistemas de manufatura**. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

ARANTES, Aloysio Sérgio de. **Padronização participativa nas empresas de qualidade**. 1ª ed, Editora Nobel, 1998.

ASM American Society of Materials. **ASM Specialty Handbook: Aluminium and Aluminium Alloys**. ASM International, Ohio, USA, 1993.

BAJÍC, D.; Celent, L.; Jozić, S., **Modeling of the influence of cutting parameters on the surface roughness, tool wear and cutting force in face milling in off-line process control**. Journal of Mechanical Engineering, Vol. 58, pp. 673-682, 2012.

BORNIA, A.C. **Análise Gerencial de Custo: Aplicação em Empresas Modernas**; 2ª edição. São Paulo: Atlas, 2009.

COSTA, E. S., GONÇALVES, C S., MACHADO, A. R., **Análise da Rugosidade em Canais de Fresamento na Liga de Alumínio ASTM 6351-t6 em Função dos Parâmetros de Corte e do Número de Dentes da Fresa**. XI Colóquio de Usinagem, Goiânia, 2006.

COSTA, Ribamar. **Análise da Rugosidade Superficial Usinando Ligas de Alumínio SAE 305 E SAE 323 Com Fresa de Metal Duro**, 2013. Disponível em http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1885/TCC_RIBAMAR.pdf?sequence=1. Acesso em 01 janeiro 2019.

DIN 8589, **Fertigungs. Verfahren. Frasen**. Teil 3. Berlin, Beuth Verlag, 1989.

DINIZ, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**, 8 ed., São Paulo, Artliber, 2013.

FERRARESI, D. **Fundamento da usinagem dos metais**. São Paulo, Edgard Blucher, 1997.

FERREIRA, J. A. S. **Contabilidade de custos**. São Paulo, Pearson, 2008.

JUNIOR, Isnard Marshall; CIERCO, Agliberto Alves; ROCHA, Alexandre Varanda; MOTA, Edmarson Bacelar; LEUSIN, Sérgio. **Gestão da Qualidade**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006

MACHADO, A. R.; Silva, M. B.; Coelho, R. T; Abrão, A. M. **Teoria da Usinagem dos Materiais**, 1. Ed., São Paulo: Blücher, 2009.

MACHADO, A.R., DA SILVA, M.B. **Usinagem dos Metais**, apostila. 8º versão, EDUFU, Uberlândia, 2004, 257 p.

MARCELINO, A. P.; DOMINGOS, D. C.; CAMPOS D. V.; SCHROETER R. B. **Medição e simulação dos esforços de usinagem no fresamento de topo reto de ligas de alumínio tratável termicamente 6061**. In: CONGRESSO ESTUDANTIL DE ENGENHARIA MECÂNICA - CREEM, 11., 2004, Nova Friburgo. Anais... Nova Friburgo: Instituto Politécnico da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2004. Não paginado.

MARTINS,E. **Contabilidade de custos**. 9º ed. São Paulo: Atlas, 2008.

METALTHAYGA. **Catálogo Metalcast2**. Disponível em <http://metalthaga.com.br/wp-content/uploads/2015/11/3-METALCAST-2-Ligas-de-Aluminio-6082.pdf> , 2015. Acesso em 14 fevereiro 2019.

NBR ISO 4287- **Especificações geométricas do produto**, 2002.

PORTER, Michael. **Os Caminhos da Lucratividade**. HSM Management. Março-Abril, 1997.

ROZENFELD, Henrique; Forcellini, Antonio; Amaral, Daniel; Toledo, José; Silva, Sérgio; Alliprandini, Dário; Scalice, Régis. **Gestão de desenvolvimento do produto-uma referência para melhoria do processo**. Editora Saraiva, 2006.

SANDVIK COROMANT. **Modern metal cutting - a practical handbbok** Sweden: Sandvik Coromant Technical Editorial Departamentdept, 2012.

SANTOS, S. C., SALES, W. F. **Fundamentos da Usinagem dos Materiais**, Apostila, PUC Minas, Belo Horizonte, MG. 2003.

SANTOS, S. C., Sales, W. F., 2007, **Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais**, Artliber Editora, Brasil.

SOKOVIC, M.; MIJANOVIC, K. **Ecological aspects of the cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes**. Journal of Materials Processing Technology, v. 109, n. 1-2, p. 181-189, 2001.

SOUZA, A. F. e COELHO, R. T. **Tecnologia CAD/CAM definições e estado da arte visando auxiliar a implantação em um ambiente fabril**. XXII ENEGEP, Ouro Preto MG, 2003.

STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. **Metal cutting theory and practice**. 1 ed. New York: Marcel Dekker, 1996.

TRENT, E. M.; WRIGTH, P, K., **Metal Cutting**, 4º. Ed., Butterworts, England, 2000.

**APÊNDICE A – RESULTADOS ENCONTRADOS UTILIZANDO OS PARÂMETROS
RECOMENDADOS PELO FABRICANTE**

RECOMENDAÇÕES DO FABRICANTE							
AMOSTRAS	MATERIAL	ESTRATÉGIA		TEMPO (MIN)	RUGOSIDADE (µm)		
A11 *	WIDIA 5873510 Ferramenta H1	ap (mm)	0,05	62,58	ra= 0,330		
		f (mm/min)	350				
		n (rpm)	2730		rt= 2,089		
		Vc (mm/min)	85,72				
A12 *		WIDIA 5873510 Ferramenta H1	ap (mm)	0,05	14,63	ra= 1,242	
			f (mm/min)	1500			
			n (rpm)	2730		rt= 6,289	
			Vc (mm/min)	85,722			
A13*			WIDIA 5873510 Ferramenta H1	ap (mm)	0,05	9,37	ra= 5,251
				f (mm/min)	2500		
				n (rpm)	2730		rt= 35,090
				Vc (mm/min)	85,722		
A21 *	WIDIA 5826040 Ferramenta H2			ap (mm)	0,05	85,58	ra= 1,540
				f (mm/min)	350		
				n (rpm)	1500		rt= 6,660
				Vc (mm/min)	47,1		
A22 *		WIDIA 5826040 Ferramenta H2		ap (mm)	0,05	14,65	ra= 0,399
				f (mm/min)	1500		
				n (rpm)	1500		rt= 3,378
				Vc (mm/min)	47,1		
A23 *			WIDIA 5826040 Ferramenta H2	ap (mm)	0,05	8,85	ra= 4,421
				f (mm/min)	2500		
				n (rpm)	1500		rt= 33,280
				Vc (mm/min)	47,1		
A31 *	INDAÇO 1501 DIN 844 Ferramenta H3			ap (mm)	0,05	62	ra= 0,799
				f (mm/min)	350		
				n (rpm)	1500		rt= 4,160
				Vc (mm/min)	47,1		
A32 *		INDAÇO 1501 DIN 844 Ferramenta H3		ap (mm)	0,05	14,72	ra= 1,599
				f (mm/min)	1500		
				n (rpm)	1500		rt= 8,710
				Vc (mm/min)	47,1		
A33 *			INDAÇO 1501 DIN 844 Ferramenta H3	ap (mm)	0,05	8,82	ra= 5,665
				f (mm/min)	2500		
				n (rpm)	1500		rt= 32,200
				Vc (mm/min)	47,1		
A41 *	INDAÇO 1445 DIN 327 Ferramenta H4			ap (mm)	0,05	62	ra= 4,083
				f (mm/min)	350		

		n (rpm)	2730		rt= 27,140
		Vc (mm/min)	85,722		
A42 *		ap (mm)	0,05	14,67	ra= 2,271
		f (mm/min)	1500		rt= 26,481
		n (rpm)	2730		
		Vc (mm/min)	85,722		
A43 *		ap (mm)	0,05	8,83	ra= 3,563
		f (mm/min)	2500		rt= 22,872
		n (rpm)	2730		
		Vc (mm/min)	85,722		

