



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

MATEUS MONTEIRO MAIA

**INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE FRESAGEM NA QUALIDADE
SUPERFICIAL DE PEÇAS.**

FORTALEZA

2017

MATEUS MONTEIRO MAIA

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE FRESAGEM NA QUALIDADE SUPERFICIAL
DE PEÇAS.

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

Orientador: Prof.Dr. Francisco Elicivaldo Lima.

FORTALEZA

2017

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

M187i Maia, Mateus Monteiro.
Influência dos parâmetros de fresagem na qualidade superficial de peças. / Mateus Monteiro Maia. – 2017.
53 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima.

1. Fresagem. 2. Rugosidade. 3. Aço rápido. I. Título.

CDD 620.1

MATEUS MONTEIRO MAIA

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE FRESAGEM NA QUALIDADE
SUPERFICIAL E PEÇAS.

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

Aprovada em: 20 / 12 / 2017 .

BANCA EXAMINADORA

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

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

Prof. Dr. Clodoaldo, de Oliveira Carvalho Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Antônio e Eldilênia.

AGRADECIMENTOS

À minha família, por todo o suporte em todos esses anos, vocês são a maior fonte de inspiração.

À minha namorada, Carolina, por toda a motivação e apoio.

Ao professor orientador Francisco Elicivaldo Lima, por toda as conversas, troca de idéias e informações que engradeceram o trabalho e minha vida.

Aos Técnicos Geová e Bonfim, por todo o suporte e orientação para a realização do procedimento experimental.

Ao Laboratório de Metrologia Mecânica (Lametro), pelo suporte para a realização do trabalho.

“Um bastão e uma bola custam 1,10 dólar
O bastão custa um dólar a mais que a bola
Quanto custa a bola? ” (Daniel Kahneman)

RESUMO

O processo de Fabricação por Fresagem é muito importante para a produção industrial de peças. Peças com chavetas, rasgo em T, superfícies côncavas e convexas, superfícies com ângulos, entre outras, são possíveis de serem fabricadas através desse processo. Muitos processos exigem uma boa qualidade da peça fabricada, com um bom acabamento superficial, ou seja, baixos valores de rugosidade. Esse trabalho avalia a qualidade superficial da peça de liga de alumínio 6061 (Magnésio-Silício) através da rugosidade média Ra após a realização do processo de fresagem do tipo tangencial. Analisando a rugosidade como um parâmetro de qualidade final, variou-se os parâmetros de entrada, profundidade de corte e velocidade de avanço, afim de verificar a variação da rugosidade média Ra. Foi utilizado uma ferramenta de aço rápido (HSS) com 14 milímetros de diâmetro e a máquina ferramenta fresadora vertical disponível no Laboratório de Máquinas Operatrizes do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará. Para a medição da rugosidade, foi utilizado um rugosímetro, equipamento que mede a rugosidade, disponível no Laboratório de Metrologia Mecânica (Lametro).

Palavras-chave: Fresagem. Rugosidade. Aço Rápido.

ABSTRACT

Milling process manufacture it is an important process for industry of parts. Keyways, ribs in T, concave and convex surfaces and surface with angles are possible of manufactured through this process. Many processes require good quality of parts with a good surface finish, that is, small roughness. This work evaluate the surface quality by roughness of aluminum alloy 6061 part used in a tangential milling process. Analyzing the roughness like a final quality parameter, varied parameters of process milling, like feed speed and depth of cut. High Speed Steel tool (HSS) was used with 14 millimeter of diameter and the vertical milling machine available in the Laboratório de Máquinas Operatrizes. For measuring surface roughness, it was used rugosimeter of Laboratório de Metrologia Mecânica (LAMETRO)

Keywords: Milling. Roughness. High Speed Steel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos de Fresagem	15
Figura 2 – Máquina Fresadora Vertical	16
Figura 3 – Máquina Fresadora Horizontal	17
Figura 4 – Fresamento Tangencial	18
Figura 5 – Fresamento de Topo	18
Figura 6 – Movimento de corte concordante e discordante	21
Figura 7 – Fresa Topo com 4 gumes cortantes	22
Figura 8 – Trem de Fresa de Disco	22
Figura 9 – Fresa Cilíndrica-Frontal	23
Figura 10 – Linha Média (M)	31
Figura 11 – Demonstração dos percursos durante a medição da rugosidade	32
Figura 12 – Rugosidade Média	33
Figura 13 – Máquina Fresadora Vertical	34
Figura 14 – Ferramenta Rocast HSS	35
Figura 15 – Alumínio 6061	35
Figura 16 – Rugosímetro Mitutoyo SJ-201	36
Figura 17 – Vista do passe de fresagem tangencial	37
Figura 18 – Indicação dos pontos onde foram realizadas as medições de rugosidade	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Ra em função da Velocidade de Avanço para uma profundidade de corte de 7 mm	40
Gráfico 2 – Ra em função da velocidade de avanço para uma profundidade de corte de 14 mm	41
Gráfico 3 – Ra em função da velocidade de avanço para uma profundidade de corte de 21 mm	42
Gráfico 4 – Ra em função da velocidade de avanço para as 3 profundidades de corte	43
Gráfico 5 – Ra em função da profundidade de corte para uma velocidade de avanço de 30 mm/min	44
Gráfico 6 – Ra em função da profundidade de corte para uma velocidade de avanço de 145 mm/min	45
Gráfico 7 – Ra em função da profundidade de corte para uma velocidade de avanço de 365 mm/min	46
Gráfico 8 – Ra em função da profundidade de corte para uma velocidade de avanço de 550 mm/min	47
Gráfico 9 Ra em função da profundidade de corte para todas as velocidades de avanço	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das Ligas de Alumínio	25
Tabela 2 – Rugosidade média para a profundidade de corte de 7mm	39
Tabela 3 – Rugosidade média para a profundidade de corte de 14 mm	39
Tabela 4 – Rugosidade média para a profundidade de corte de 21 mm	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
HSS	Ferramenta de Aço Rápido
LAMETRO	Laboratório de Metrologia Mecânica
UFC	Universidade Federal do Ceará

LISTA DE SÍMBOLOS

V_f	Velocidade de Avanço
f	Avanço
f_z	Avanço por dente
z	Número de dentes
V_c	Velocidade de corte
n	Rotação
R_q	Desvio Médio Quadrático
R_a	Rugosidade Média
R_y	Rugosidade Máxima
L_v	Percurso Inicial
L_m	Percurso de Medição
L_n	Percurso Final
L_t	Percurso de Apalpamento
L_e	Comprimento de Amostragem
a_p	Profundidade de Corte
a_e	Penetração de Trabalho
D	Diâmetro da Fresa
HSS	Ferramenta de Aço rápido
F_n	Força de Avanço

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Processo de Fresagem	15
2.2	Tipos de Fresadoras	16
2.3	Principais Tipos de Fresamento	17
2.4	Grandezas de Corte no Processo de Fresagem	19
2.4.1	Grandezas de Avanço	19
2.4.1.1	<i>Avanço</i>	19
2.4.1.2	<i>Avanço Por Dente</i>	19
2.4.2	Grandezas de Penetração	19
2.4.2.1	<i>Profundidade ou Largura de Fresagem</i>	19
2.4.2.2	<i>Penetração de Trabalho</i>	20
2.4.3	Grandezas de Velocidade	20
2.4.3.1	<i>Rotação</i>	20
2.4.3.2	<i>Velocidade de Avanço</i>	20
2.4.3.3	<i>Velocidade de Corte</i>	20
2.4.4	Movimento Concordante e Discordante	21
2.5	Tipos de Fresa	22
2.5.1	Fresa de Topo	22
2.5.2	Fresa de Disco	22
2.5.3	Fresa Cilíndrica-Frontal	23
2.6	Alumínio	23
2.6.1	Introdução	23
2.6.2	Características de Usinabilidade	24
2.6.3	Composição Química dos Alumínios	24
2.6.4	Classificação dos Alumínio e Suas Ligas	24
2.7	Usinabilidade	25
2.8	Materiais e Ferramentas	26
2.8.1	Ferramentas de Aço Rápido	27
2.8.2	Características de Ferramentas de Aço Rápido Fabricadas por Metalurgia do Pó	27

2.8.3	<i>Efeito dos Elementos de Liga nos Aços Rápidos</i>	28
2.9	Qualidade de Peças Usinadas	28
2.9.1	<i>Condição Físico-Mecânica da Camada Superficial</i>	28
2.10	Erros de Formas de Peças Usinadas	29
2.10.1	<i>Parâmetros de Precisão de Usinagem</i>	29
2.10.2	<i>Fatores Geradores de Erros em Usinagem</i>	29
2.11	Rugosidade Superficial	30
2.11.1	<i>Medição da Rugosidade</i>	30
2.11.2	<i>Medição da Rugosidade Pelo Métodos da Linha Média – M</i>	30
2.11.3	<i>Percursos de Medição da Rugosidade</i>	32
2.12	Parâmetros de Avaliação da Rugosidade	31
2.12.1	<i>Rugosidade Média (Ra)</i>	33
2.12.2	<i>Escolha de Um Parâmetro de Rugosidade</i>	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	<i>Máquina Ferramenta</i>	34
3.2	<i>Ferramenta</i>	35
3.3	<i>Alumínio</i>	35
3.4	<i>Rugosímetro</i>	36
3.5	<i>Procedimento de Fresagem</i>	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1	<i>Rugosidade da superfície usinada</i>	38
5	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS	50
	ANEXO A – VALORES DE RUGOSIDADES MEDIDOS	51

1 INTRODUÇÃO

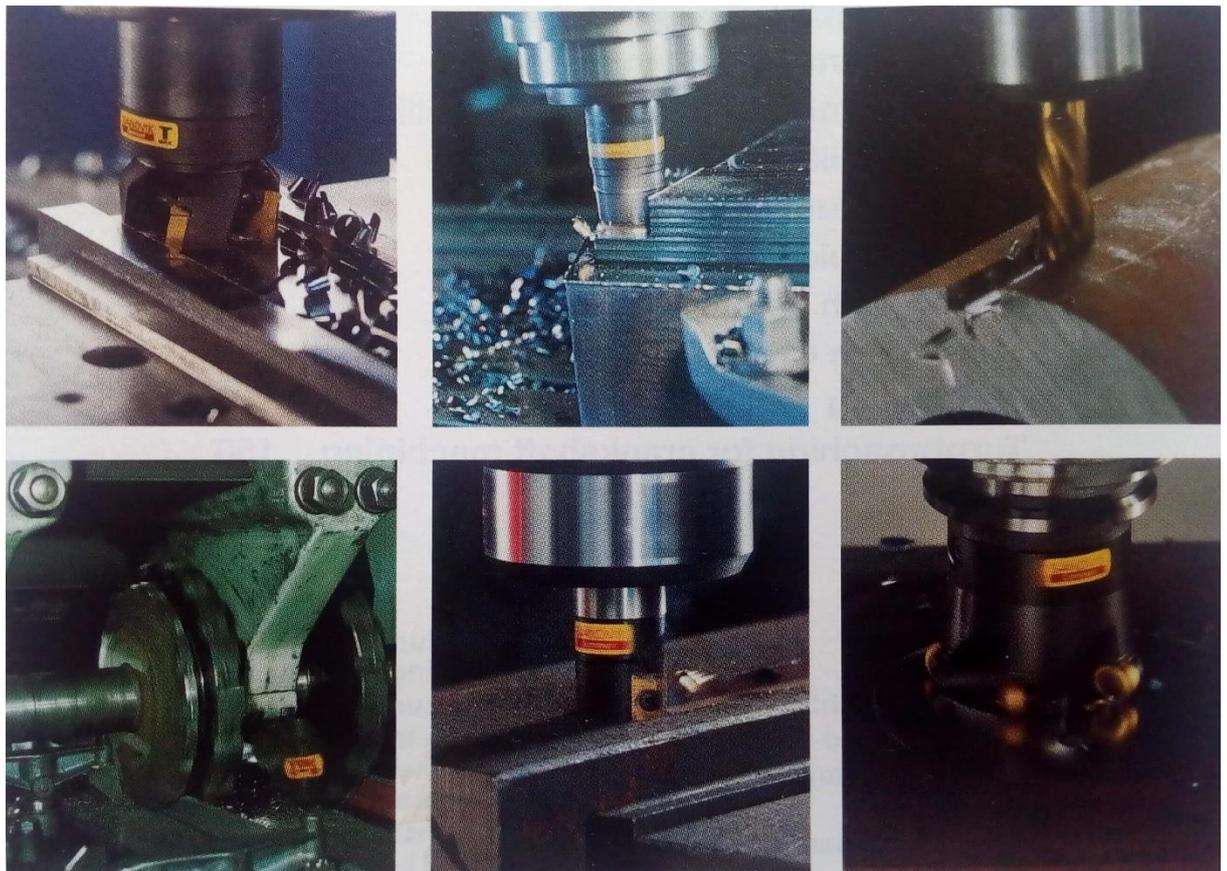
Os Processos de Fresagem estão cada dia mais modernos na indústria de fabricação. Várias peças utilizadas em máquinas e equipamentos são provenientes desses processos. A qualidade de peças está sendo cada vez maior devido ao avanço da tecnologia. O parâmetro que mede a qualidade superficial de peças é a rugosidade. O objetivo desse trabalho é avaliar a ligação de parâmetros do processo de fresagem com a rugosidade superficial, ou qualidade de peça. Para isso foi utilizado o Alumínio 6061 como material de estudo, uma ferramenta de aço rápido (HSS) e uma fresadora vertical do Laboratório de Máquinas Operatrizes. Para a medição da rugosidade, foi utilizado o rugosímetro do Laboratório de Metrologia da UFC (Lametro). Também foi observado o comportamento da ferramenta no processo de fresagem a partir das variações dos parâmetros, mais precisamente da velocidade de avanço, para efeito de comparação com a literatura

2 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processo de Fresagem

Fresagem é um processo de usinagem em que o metal é removido por uma ferramenta giratória que se chama fresa. Esta ferramenta possui vários gumes cortantes, onde cada gume remove uma quantidade do metal a cada volta ou revolução do eixo onde tal ferramenta é fixada. A operação de fresagem é capaz de usinar superfícies apresentando qualquer orientação, porque tanto a peça quanto a ferramenta podem ser movimentadas em mais de uma direção, ao mesmo tempo. A máquina que realiza esse processo é a *fresadora*, (CHIAVERINI,1986). A figura 1 mostra os tipos de processos de fresagem mais utilizados.

Figura 1 – Processos de Fresagem



Fonte: Sandvik (1994)

2.2 Tipos de Fresadoras

A princípio existem três tipos de fresadoras, são elas: fresadoras verticais, fresadoras horizontais e fresadoras universais. As fresadoras horizontais são constituídas de uma base, onde se encontra uma coluna, que contém a árvore e seu mecanismo motor e o eixo porta-ferramenta, o suporte, que tem movimento vertical, o carro que é fixado ao suporte e que se move horizontalmente e uma mesa fixada ao carro. As fresadoras verticais são empregadas quando se faz necessário girar a fresa segundo um eixo vertical. É composta de uma base, na qual está ligado o suporte que se movimenta verticalmente, nesse suporte encontra-se o carro, dotado de movimento horizontal e sobre o mesmo a mesa na qual as peças que serão usinadas ficam fixadas. As fresadoras universais, como o próprio nome sugere, são máquinas que possibilitam usinagem tanto na horizontal quanto na vertical, podendo assim executar várias formas e perfis desejados, porém não são máquinas adequadas para produção em série. (CHIAVERINI, 1986)

Figura 2 – Máquina Fresadora Vertical



Fonte : (<<http://www.directindustry.com/pt/prod/kent-industrial/product-18544-903441.html>>)

Figura 3 – Máquina Fresadora Horizontal

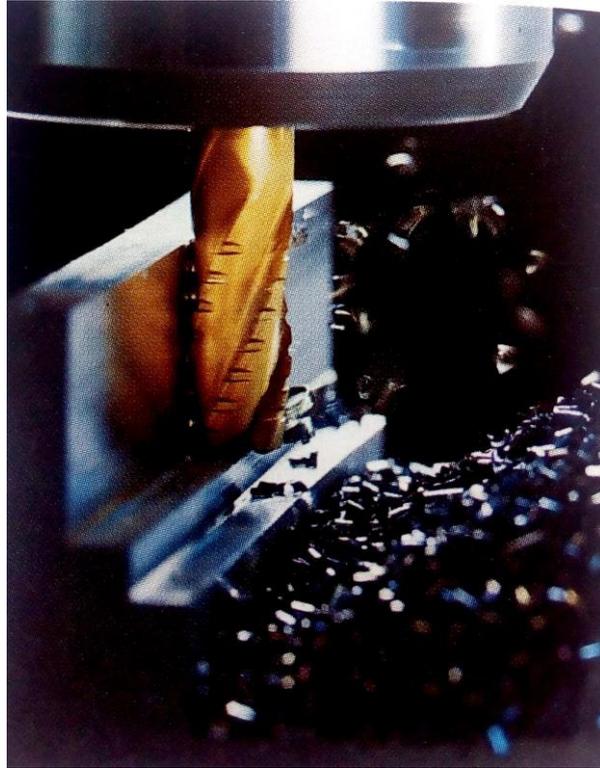


Fonte: (<<http://www.mojimak.com.br/fresadora-horizontal-universal>>)

2.3 Principais Tipos de Fresamento

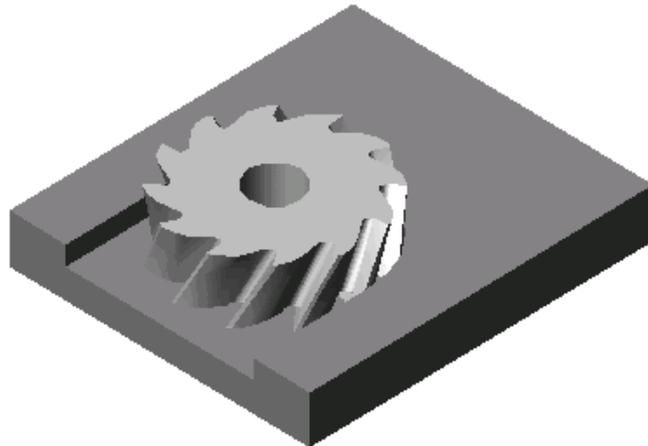
A partir da disposição dos dentes ativos da fresa, a operação de fresagem pode ser classificada em dois tipos de fresamento: Fresamento Tangencial e Fresamento Frontal. O Fresamento Tangencial se dá quando os dentes ativos estão na superfície cilíndrica da Fresa. Esse tipo de fresa é chamada de Fresa cilíndrica ou tangencial. Já o fresamento frontal se dá quando os dentes ativos da fresa estão na superfície frontal da ferramenta. Esse tipo de ferramenta é chamada de fresa de topo ou frontal. As figuras 4 e 5 demonstram o fresamento tangencial ou periférico e o fresamento de topo ou frontal, respectivamente.

Figura 4 – Fresamento Tangencial ou Periférico



Fonte: Sandvik (1994)

Figura 5 – Fresamento de Topo Ou Frontal



Fonte: (<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABJ3MAK/fresadora-fresamento?part=3>>)

2.4 Grandezas de corte no processo de Fresagem.

Os parâmetros de corte presentes no processo de fresagem são, parâmetros de avanço, parâmetros de penetração e parâmetros de velocidade.

2.4.1 Grandezas de Avanço.

2.4.1.1 Avanço (f)

Define-se como o percurso de avanço em cada volta ou em cada curso da ferramenta. No processo de fresagem, o avanço se dá pelo movimento horizontal da mesa onde está fixada a peça. Unidade: mm/rotação.

2.4.1.2 Avanço por dente

É o percurso de avanço por dente e por volta que é medido na direção de avanço, dado pela equação 1:

$$fz = \frac{f}{z} \quad (1)$$

onde f é o avanço e z é o número de dentes ativos da fresa. Unidade: mm/dente.

2.4.2 Grandezas de Penetração

2.4.2.1 Profundidade ou largura de fresagem (a_p)

Define-se como sendo a profundidade ou largura de penetração da ferramenta, em milímetros, com relação à peça e é medida perpendicularmente ao plano de trabalho. No caso do fresamento frontal, a_p é denominada profundidade de corte. Dada em milímetro.

2.4.2.2 Penetração de trabalho (a_e)

É o quanto a ferramenta penetra em relação à peça, em milímetros, e é medida no plano de trabalho e perpendicularmente à direção de avanço. Dada em milímetros

2.4.3. Grandezas de Velocidade

2.4.3.1 Rotação

É a rotação do eixo árvore da máquina onde se está fixada a ferramenta. A rotação é definida na própria máquina. Unidade: rotações por minuto (rpm).

2.4.3.2 Velocidade de avanço (V_f)

É o quanto a peça irá se deslocar em relação a ferramenta. Definida por milímetros por minuto (mm/min). No caso da fresagem, esse parâmetro é ajustado na mesa onde está fixada a peça, diferentemente do processo de torneamento onde se ajusta o parâmetro avanço (f). A velocidade de avanço é definida pela equação 2:

$$V_f = f \times n \quad (2)$$

onde f é o avanço e n a rotação.

2.4.3.3 Velocidade de Corte (V_c)

Velocidade de Corte é definida como sendo a velocidade tangente a peça devido a rotação da ferramenta. É dada pela seguinte equação:

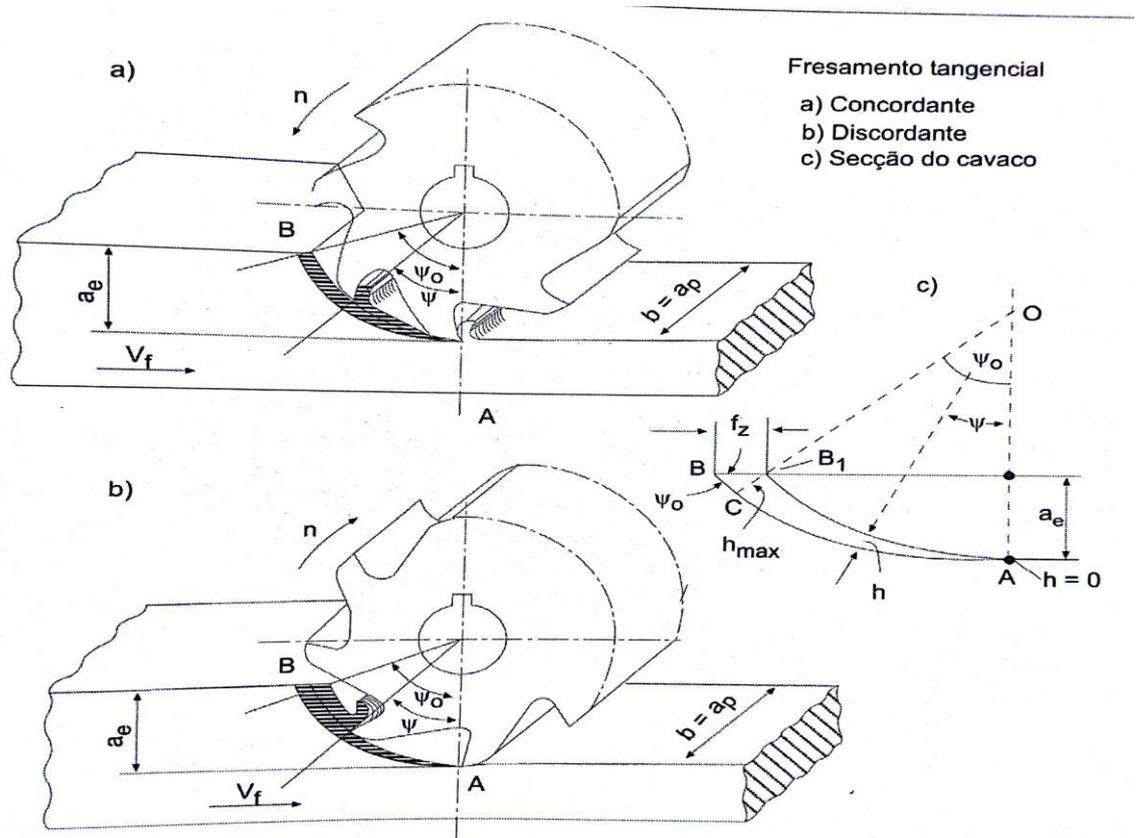
$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3)$$

onde D é o diâmetro da ferramenta em milímetros, n a rotação da ferramenta dada em rotações por minuto (rpm) e V_c é dada em metros por min (m/min). (SANDVIK, 1994)

2.4.4 Movimento Concordante e Discordante

No processo de fresagem, o corte pode ser classificado como concordante ou discordante. No corte concordante, a fresa gira no mesmo sentido de avanço da mesa onde está fixada a peça, já no corte discordante a fresa gira no sentido oposto ao de avanço da mesa. A figura 6 a seguir ilustra os dois movimentos.

Figura 6 – Movimento de corte concordante e discordante.



Fonte: Diniz (2013)

Na figura 6 acima, é possível ver como se forma o cavaco. No movimento concordante, o corte inicia com uma porção máxima de cavaco em direção a uma porção mínima e no movimento discordante o início do corte retira uma porção mínima e vai até uma porção máxima.

2.5 Tipos de Fresa

2.5.1 Fresa de Topo

A Fresa de topo é caracterizada como tendo os seus dentes ativos na parte frontal da ferramenta, ou seja, no topo. É utilizada principalmente em fresagem de topo, mas pode também ser utilizada na fresagem tangencial pois seus gumes conseguem cortar na parte periférica.

Figura 7 - Fresa Topo com 4 gumes cortantes.



Fonte: (< <http://www.fermec.com.br/usinagem/fresa-topo-metal-duro.php>>)

2.5.2 Fresas de Disco

Tipo de fresa com várias formas e tamanhos como mostrado na figura 8, podendo ser montadas como um trem de fresas. São aplicadas em várias operações de usinagem.

Figura 8 - Fresa de Disco



Fonte: (< https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/products/coromill_331>)

2.5.3 Cilíndrica-Frontal

São utilizadas para a construção de ranhuras e contornos. Possuem uma semelhança com as fresas de topo mas a diferença é que não possuem haste de fixação própria. São geralmente usadas para fazer canais em cheios. A figura 9 mostra um exemplo desse tipo de fresa.

Figura 9 – Fresa Cilíndrica-Frontal



Fonte: (<<http://www.directindustry.com/prod/sandvik-coromant/product-14460-351999.html>>)

2.6 Alumínio

2.6.1 Introdução

O Alumínio e suas ligas é um material considerado novo. A produção desse metal em 1892 foi de aproximadamente duas toneladas(2t),já em 1980 foi de 16 milhões de toneladas. Na década de 1950 houve um aumento contínuo da produção do metal. Depois do ferro, o alumínio é o material mais utilizado na fabricação de peças. Dentre as principais características pode-se citar, elevada resistência à corrosão, endurecibilidade de muitas ligas, aparência, fabricabilidade, possibilidade de tratamentos superficiais, entre outras propriedades.

2.6.2 Características de Usinabilidade.

Segundo Weingaertner(1991), o alumínio oferece grandes vantagens, como por exemplo velocidade de corte quase ilimitada, baixas forças de corte, excelente acabamento, bom controle dimensional e uma longa vida da ferramenta. Diferente dos aços mais pesados, o alumínio pode ser usinado utilizando velocidades bem maiores.

2.6.3 Composição Química dos Alumínios

Muitos elementos são adicionados ao metal de base para a composição da liga de alumínio. Dentre os que determinam as principais características da liga, podemos citar o cobre, silício, magnésio, zinco e manganês. Cromo, níquel, vanádio, boro, prata, chumbo, bismuto, zircônio e lítio atribuem propriedades como controle de recristalização e resistência a corrosão. (WEINGAERTNER,1991).

2.6.4 Classificação do Alumínio e suas ligas

Nos Estados Unidos, a Aluminum Association classificou o alumínio segundo o elemento químico com maior concentração na Liga. Ele é designado através de 4 dígitos. O primeiro dígito representa o elemento químico de maior concentração. Por exemplo, 2XXX, onde o número 2 representa o cobre como elemento majoritário. Os últimos dois dígitos representam a porcentagem de alumínio excedente a 99%, nas ligas do grupo 1XXX. Já nos grupos de 2XXX a 8XXX, os últimos dois dígitos são apenas para diferenciar ligas do mesmo grupo. Já o segundo dígito quando é diferente de zero é para indicar que uma liga é derivada daquela com o segundo dígito zero, (WEINGAERTNER,1991). A classificação está demonstrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação das Ligas de Alumínio

Série	Elementos de liga Principais
1XXX	Alumínio Puro
2XXX	Cu
3XXX	Mn
4XXX	Si
5XXX	Mg
6XXX	Mg ,Si
7XXX	Zn
8XXX	Sn, Li, Fe, Cu, Mg
9XXX	Reservado para uso Futuro

Fonte: Elaborada pelo autor

2.7 Usinabilidade

A usinabilidade possui diversos parâmetros para sua definição. Um dos principais é conhecer qual o grau de facilidade de se usinar certos materiais. A partir desse parâmetro, outros podem ser definidos, como custo e tempo de usinagem. Esses são essenciais em uma cadeia de produção de peças. A vida da ferramenta também é um dos principais parâmetros de viabilidade de uma usinagem. Em um material que será usinado, é mais aconselhável que a dureza e a ductilidade tenham valores baixos, porém, sabe-se que quanto menor a ductilidade maior é a dureza e vice-versa, portanto, o principal desafio nesse caso é determinar qual o melhor material que satisfaça essa exigência. As principais propriedades que afetam a usinabilidade são: dureza, ductilidade, condutividade térmica e inclusões. (SANDVIK, 1994)

2.8 Materias de Ferramentas

Os materiais usados para fabricar ferramentas são constantemente modificados. Uma usinagem que no início do século 20 levava em torno de uma hora e meia, hoje é realizada em pouco mais de um minuto ou até menos. A partir disso, pode-se dizer que estudos e desenvolvimento em ferramentas de corte proporcionaram um grande avanço na indústria do século passado. (SANDVIK, 1994)

Para uma boa seleção do material da ferramenta, deve-se atentar para alguns fatores como por exemplo o material a ser usinado, o processo de usinagem, a condição da máquina operatriz, a forma e a dimensão da ferramenta, o custo do material da ferramenta, as condições de usinagem e as condições de operação. (DINIZ, 2013) Como exemplo a dureza do material a ser usinado e o tipo de cavaco formado são características que devem ser levadas em conta, como também alguns materiais que são de baixo custo e que podem apresentar falhas nas peças usinadas e uma baixa qualidade, apresentando assim uma má relação custo/benefício.

As principais fresas, como a de topo e a cilíndrica, são fabricadas principalmente de aço rápido com cobertura, aço rápido ou metal duro. As fresas frontais de facear ou as cilíndricas, que possuem diâmetro grande, são feitas de metal duro, com corpo de aço carbono. Pelo fato de essas ferramentas possuírem o diâmetro grande, não se faz necessário altas rotações afim de produzir as velocidades de cortes compatíveis com o metal duro ou metal duro com cobertura. Conseqüentemente, utiliza-se no corpo da fresa material barato, aço-carbono, para baratear a ferramenta. Para diâmetro pequenos, como as fresas de topo, é comum se utilizar o aço-rápido para assim se conseguir velocidades altas compatíveis com o metal duro. (DINIZ, 2013)

2.8.1 Ferramentas de Aço Rápido

São ferramentas que tem como composição uma alta liga de tungstênio, molibdênio, cromo, vanádio, cobalto e nióbio. É uma ferramenta que suporta maiores velocidades de corte, como o nome já sugere. São tenazes, de grande resistência ao desgaste e de elevada dureza a quente, podendo ser utilizadas em temperaturas de corte na faixa de 600°C. Sua estrutura metalográfica de aço rápido no estado temperado é martensítica básica com carbonetos encrustados. Essa estrutura básica dá a ferramenta uma dureza a quente, a qual é tanto maior quanto mais elementos de liga são dissolvidos durante o tratamento térmico e permanecem dissolvidos depois. A tenacidade do aço rápido está ligada aos elementos de liga presente em sua estrutura e do grau de dissolubilidade destes. Outra propriedade importante é que o aço rápido é altamente duro em temperatura ambiente. (DINIZ, 2013).

2.8.2 Características de Ferramentas de Aço Rápido Fabricadas por Metalurgia do Pó

O aço rápido fabricado pelo processo de metalurgia do pó (HSS-PM) é caracterizado por partículas de carbonetos mais finas e dispersão da matriz mais uniforme. Os carbonetos desse tipo de aço chegam a ser cerca de 5 vezes menores do que o do aço rápido convencional proporcionando assim várias características mencionadas a seguir:

- Facilidade de usinagem e alta retificabilidade;
- Maior resistência ao revenimento;
- Elevada tenacidade em durezas elevadas;
- Alta resistência ao desgaste;

2.8.3 Efeito dos Elementos de Liga nos aços rápidos

Os principais elementos de ligas presentes nos aços rápidos são carbono, tungstênio e molibdênio, vanádio e nióbio, cromo e cobalto. O carbono tem como objetivo aumentar a dureza e temperabilidade do material e possibilita a formação de carbonetos. O molibdênio é introduzido afim de substituir o tungstênio e ambos têm como objetivo formar carbonetos para elevar a resistência ao desgaste e dureza a quente do aço da ferramenta. O vanádio, juntamente com o carbono, forma o aço rápido mais duro. Os aços que possuem elevador teor de carbono e vanádio são os que possuem melhor resistência ao desgaste. Geralmente, para diminuir o custo, o vanádio é substituído pelo nióbio que possui características semelhantes e é mais barato em alguns países. O cromo tem como objetivo aumentar a temperabilidade do aço. O cobalto geralmente é utilizado em aços rápidos que irão ser usados em processos que apresentam temperaturas elevadas, cavacos curtos e que não podem ser utilizados fluidos de corte, pois esse elemento de liga aumenta a dureza a quente e consequentemente a eficiência de corte a quente. (DINIZ, 2013)

2.9 Qualidade de Peças Usinadas

A Qualidade de peças usinadas está diretamente ligada a condição físico-mecânica de sua superfície e do seu acabamento superficial. Esse acabamento é expresso em termos quantitativos através do parâmetro da rugosidade superficial. Esse parâmetro é influenciado pelos fatores geométricos, que podem ser o avanço ou a geometria da ferramenta por exemplo e a vibração do sistema: Máquina, fixação, ferramenta e peça. Essa rugosidade tem uma influência direta no desempenho da peça fabrica no seu trabalho, ou seja, na sua utilização, por isso há uma grande importância no seu acabamento e qualidade.

2.9.1 Condição Físico-Mecânica da Camada Superficial

Em Processos de Usinagem, sabe-se que a porção de material da mais externa, ou seja, a mais próxima da superfície externa deforma-se plasticamente. Isso se deve ao fato do atrito entre a ferramenta e a peça. Porém, sabe-se que as mudanças nas propriedades do material na superfície são causados principalmente por encruamento, mudanças metalográficas e tensões residuais.

2.10 Erros de forma de peças usinadas.

Um erro de usinagem pode ser definido como a diferença entre os parâmetros da peça usinada e aqueles de uma peça perfeita especificada no desenho. Esse erro pode variar de peças para peça como também entre lotes, porém a peça só será descartada caso esse erro exceda a tolerância especificada no projeto da peça. Pode-se dizer que o grau de coincidência entre os parâmetros macro-geométricos (dimensão e forma) de uma peça após a usinagem e aqueles especificados no projeto da peça é chamado de precisão da usinagem.

2.10.1 Parâmetros de Precisão de Usinagem

Precisão em usinagem está ligada a alguns parâmetros macro-geométricos, e pode ser diferenciada entre dois principais grupos os quais são, precisão de usinagem de superfícies e precisão de usinagem de posições relativas entre superfícies. O primeiro grupo se atém a precisão de diâmetros de superfícies cilíndricas ou esféricas como exemplo, e precisão na forma das superfícies, como por exemplo circularidade e planeza. O segundo grupo é da precisão das dimensões entre superfícies como por exemplo a distância entre o centro de dois furos e a precisão de relações posicionais entre superfícies, como o paralelismo e perpendicularidade entre dois eixos por exemplo.

2.10.2 Fatores geradores de erros em usinagem

Esses fatores podem ser divididos em três grupos:

- a) Preparação Imprecisa da máquina: Ao se preparar a máquina, tem-se como objetivo estabelecer as posições corretas entre ferramenta e peça. Para uma boa fixação da peça na máquina, deve haver um bom projeto do dispositivo fixador, também é de grande importância as posições corretas das ferramentas em relação à máquina, obtidas através de ajustes precisos das ferramentas durante a preparação da máquina.
- b) Fixação Imprecisa das Peças: A peça deve ser corretamente posicionada e fixada na máquina para uma boa usinagem, porém algumas vezes acontece desse posicionamento e fixação serem mal feitos e assim gerarem erros no momento da usinagem.
- c) Processos de Usinagem: Muitas vezes o método de usinagem escolhido não é o mais adequado para o tipo de material da peça nem a forma desejada, ocorrendo assim erros de usinagem. (Ferreira,2017)

2.11 Rugosidade Superficial

No processo de fabricação de peças, é de muita importância o acabamento da superfície da mesma, pois dependendo de onde será usada é exigido um grande grau de precisão superficial. Máquina-ferramenta ou o processo de fabricação influenciam diretamente na rugosidade superficial das peças. A rugosidade superficial é o conjunto de desvio micro-geométricos que são caracterizados por pequenas saliências e reentrâncias presentes em uma superfície. (FILHO,2011).

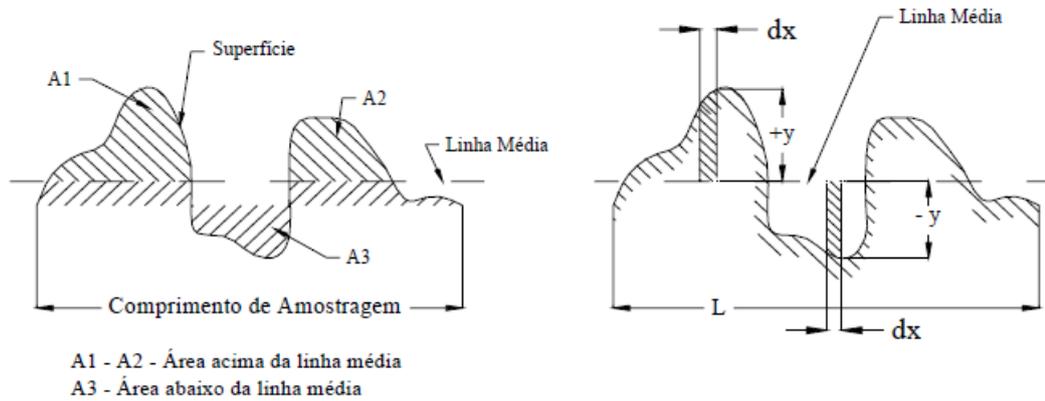
2.11.1 Medição da Rugosidade

Para se medir a rugosidade de uma peça, utiliza-se o instrumento chamado rugosímetro, onde o mesmo detecta erros micro-geométricos. O instrumento utilizado mostrará o perfil da mesma composto por rugosidade e ondulação. A ondulação é o conjunto das irregularidades repetidas em ondas de comprimento que são bem maiores que a sua amplitude com frequência pequena. Já a rugosidade é definida como em ondas de comprimento semelhantes à sua amplitude, onde a frequência destas ondas é elevada, (FILHO,2011). Como o sinal da rugosidade apresenta altas frequências, o rugosímetro utilizará filtros de alta frequência e assim eliminará os de baixa frequência. Esses filtros são comumente chamados de filtro Passa-alta.

2.11.2 Medição da Rugosidade pelo método da linha média – M

Nesse método de medição a rugosidades, todas as grandezas são medidas tendo como referência uma linha Média(M). Essa linha está disposta paralelamente a superfície da peça onde está sendo medida a rugosidade de um modo onde a soma de todas as áreas acima da linha seja igual a soma de todas as áreas abaixo da linha conforme a figura 10.

Figura 10 – Linha Média (M)



Fonte: Filho(2011)

A linha média pode ser definida de uma maneira ainda mais precisa. Como mostra a figura 10, para um determinado comprimento L da peça a soma das áreas inferiores e superiores é igual a zero, sendo assim:

$$\int_0^L y dx = 0 \quad (4)$$

Percebe-se pela equação 4, que a integral $y dx$ é a área de uma faixa elementar, a área total (A) dos picos e vales dentro do comprimento de referência L será, como mostra a equação 5:

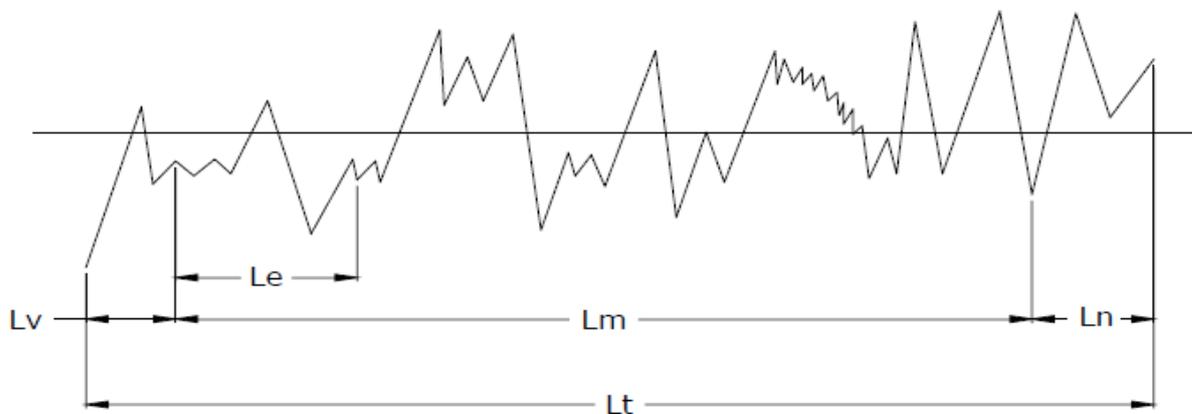
$$A = \int_0^L |y| dx \quad (5)$$

2.11.3 Percursos de medição da rugosidade.

Existem vários percursos ou comprimentos neste processo de medição, onde são: Percurso Inicial, Percurso de Medição, Percurso Final, Percurso de Apalpamento e Comprimento de Amostragem.

- Percurso Inicial (L_v): Corresponde a extensão da primeira parte do primeiro trecho que está projetado sobre a linha média. Na avaliação da rugosidade, não se usa esse percurso. A finalidade desse trecho inicial é a de permitir o amortecimento das oscilações mecânicas e elétricas iniciais do sistema de medição e a centragem do perfil de rugosidade.
- Percurso de Medição (L_m): Corresponde ao trecho útil do perfil de rugosidade usado diretamente na avaliação, projetado sobre a linha média.
- Percurso Final (L_n): Corresponde ao tamanho da superfície da última parte do trecho que será apalpado, projetado sobre a linha média e que não é utilizado na avaliação da rugosidade. Tem como principal propósito permitir o amortecimento das oscilações mecânicas e elétricas finais dos sistemas de medição.
- Percurso de Apalpamento (L_t): Corresponde a soma de todos os percursos da medição
- Cut-off (L_e): Corresponde a quinta parte do percurso de medição. Deve ser suficiente para avaliar a rugosidade, ou seja, conter todos os elementos necessários para a medição.

Figura 11 – Demonstração dos percursos durante a medição da rugosidade



Fonte: Filho (2011)

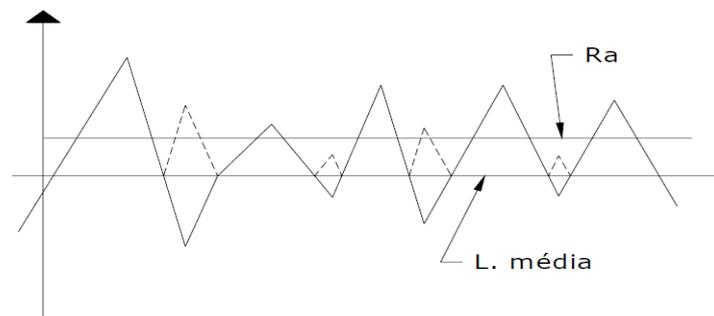
2.12 Parâmetros de avaliação da rugosidade.

2.12.1 Rugosidade Média(Ra):

Média aritmética dos valores absolutos das ordenadas dos afastamentos dos pontos do perfil de rugosidade, em relação a linha média, dentro do percurso de medição. (FILHO, 2011). Ra pode ser calculada pela Equação 6:

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y| dx = \frac{A}{L} \quad (6)$$

Figura 12 – Rugosidade Média.



Fonte: Filho (2011)

2.12.2 Escolha de um parâmetro de rugosidade.

O parâmetro Ra é o recomendado pela norma ABNT. Para se escolher um parâmetro para caracterizar a rugosidade de uma peça, deve ser levado em consideração a sua função. Para peças de vedação o mais recomendado é o uso de R_{máx}. Já para superfícies porosas, recomenda-se a utilização de Ra e R_q.

3. Materiais e Métodos

3.1 Máquina Ferramenta

A máquina ferramenta utilizada foi uma fresadora vertical fabricada em 1988, pela Indústria Brasileira de Fresadoras LTDA, localizada no estado de São Paulo. Essa Fresadora encontra-se no Laboratório de Máquinas Operatrizes e é bastante utilizada na fabricação de peças pelos técnicos locais. Abaixo segue imagem da mesma.

Figura 13 – Máquina Fresadora Vertical



Fonte: Elaborada pelo Autor.

3.2 Ferramenta

A ferramenta utilizada para o trabalho foi uma fresa de topo de aço rápido (HSS) com 14 milímetros de diâmetro e 4 dentes, da marca Rocast, como mostra a figura 14. A princípio, ela foi utilizada apenas em alumínio, reagindo bem ao trabalho.

Figura 14 – Ferramenta Rocast HSS

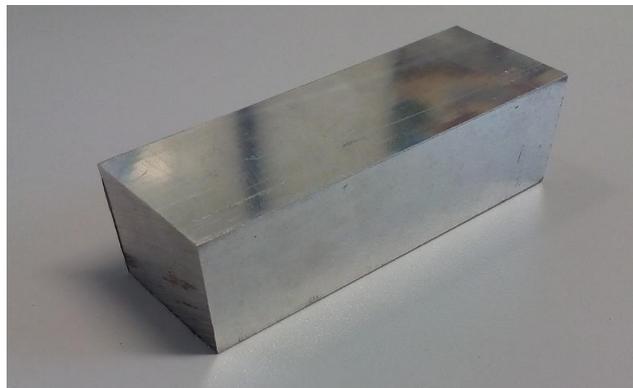


Fonte: Elaborada pela Autor

3.3 Alumínio

O alumínio 6061, como mostra a figura 15, foi utilizado como material de estudo no trabalho.

Figura 15 – Alumínio 6061



Fonte: Elaborada pelo Autor

3.4 Rugosímetro

A medição da rugosidade foi realizada no Laboratório de Metrologia Mecânica (Lametro) com um rugosímetro da marca Mitutoyo modelo SJ-201. A medição foi realizada com um ajuste do Cut-off de 0,8 mm.

Figura 16 – Rugosímetro Mitutoyo SJ-201

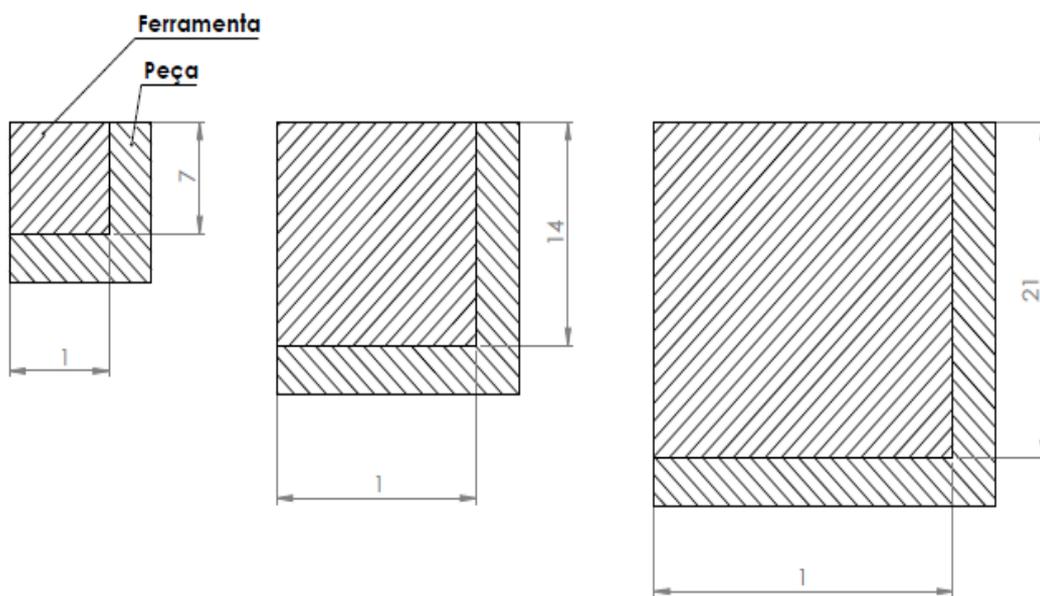


Fonte: Elaborada pelo autor

3.5 Procedimento de fresagem

Para a realização da fresagem, foi utilizada a máquina do Laboratório de Máquinas Operatrizes, que está representada na figura 15. Os parâmetros constantes e comuns em todos os passes foram: movimento de corte concordante, sem fluido de corte, rotação (n) de 3056 rpm, penetração de trabalho (a_e) de 1 mm. Já os parâmetros variados foram, profundidade de corte (a_p) variando de 7 mm, 14 mm e 21 mm, que corresponde a respectivamente metade do diâmetro da fresa, igual ao diâmetro da fresa e 50% maior que o diâmetro da fresa. Para cada valor da profundidade de corte, foi variada a velocidade de avanço da mesa da fresa nos seguintes valores: 30, 145, 365 e 550 milímetros por minuto, totalizando assim 12 passes.

Figura 17 – Vista do passe de fresagem tangencial.



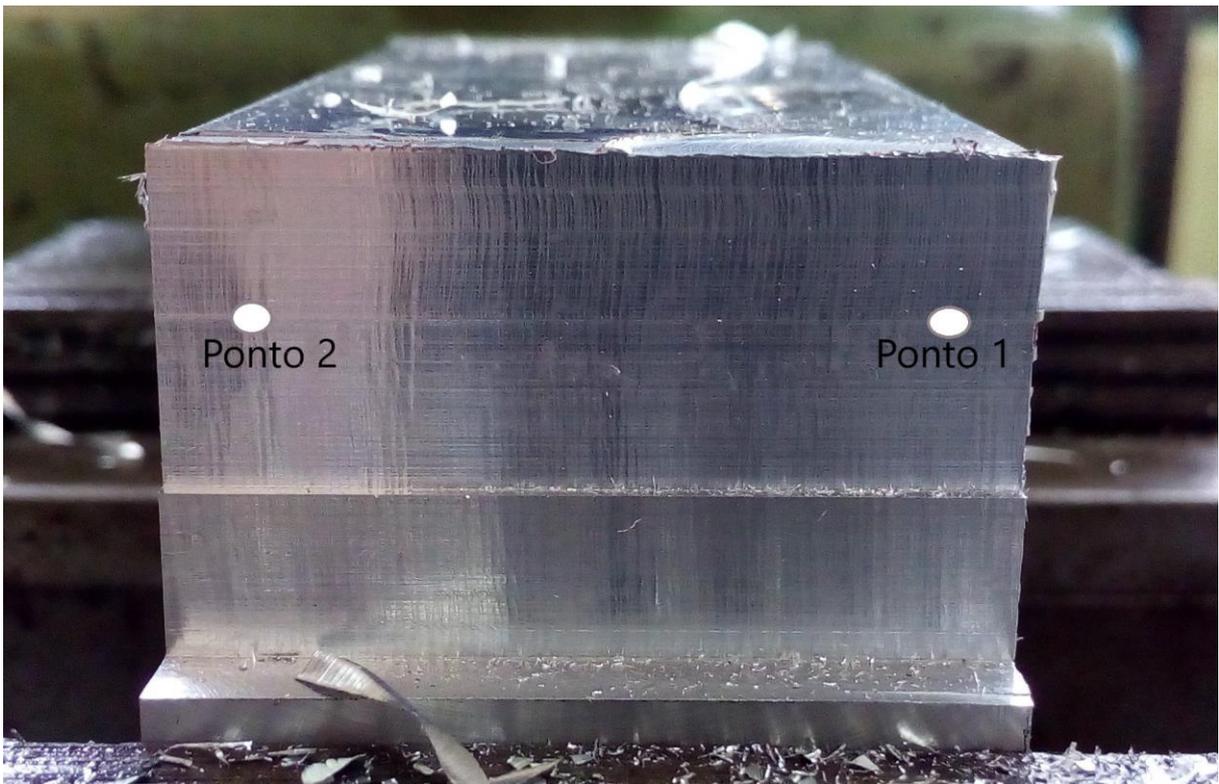
Fonte: Elaborada pelo Autor

4. Resultados e Discussões

4.1 Rugosidade da Superfície usinada.

Após cada passe realizado na peça de alumínio, a mesma foi retirada da máquina e levada ao Laboratório de Metrologia Mecânica (LAMETRO) para a ser feita a mediação da Rugosidade Média Ra. A Medição da Rugosidade foi realizada em dois pontos da peça, um ponto inicial 1 que representa o início do passe e um ponto final 2 onde representa o fim do passe como mostra a figura 19. Em cada ponto foi realizada 3 medidas e assim calculou-se a média aritmética para cada passe. Essas médias estão listas nas Tabelas 1, 2 e 3.

Figura 18 – Indicação dos pontos onde foram realizadas as medições de rugosidade



Fonte: Elaborada pelo Autor

Em cada um dos pontos observados (pontos 1 e 2) foram realizadas três medidas de rugosidade e posteriormente calculada a média aritmética simples para cada passe. Esses valores atribuídos às citadas médias estão listados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2– Rugosidade média para a profundidade de corte de 7 mm

Velocidade de Avanço (mm/min)	Ra média (μm)
30	0,375
145	0,280
365	0,237
550	0,193

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 3 – Rugosidade média para a profundidade de corte de 14 mm

Velocidade de Avanço (mm/min)	Ra média (μm)
30	0,470
145	0,462
365	0,577
550	0,741

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 4 – Rugosidade Média para a profundidade de corte de 21 mm

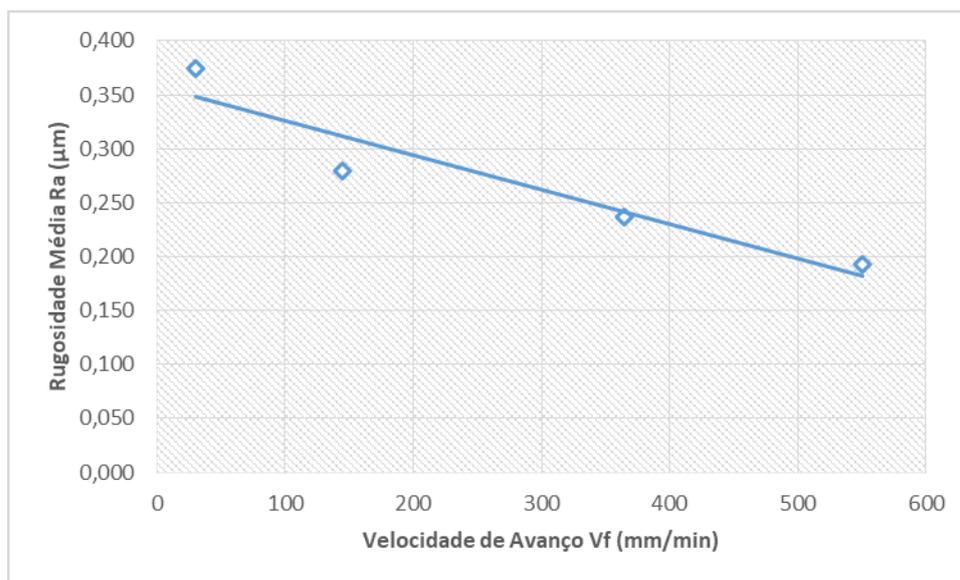
Velocidade de Avanço (mm/min)	Ra média (μm)
30	0,405
145	0,662
365	0,588
550	0,810

Fonte: Elaborada pelo autor

Por razões didáticas, os resultados expostos nas tabelas acima (Tabelas 1, 2 e 3) serão mostrados em gráficos para que, desta forma, possam ser melhor analisados e discutidos.

O gráfico 1 mostra a variação da rugosidade média Ra em função da velocidade de avanço (V_f), representativa do deslocamento relativo entre a peça e a ferramenta, para a profundidade de corte (a_p) de 7 mm.

Gráfico 1 – Ra em função da velocidade de avanço para uma profundidade de corte de 7 mm



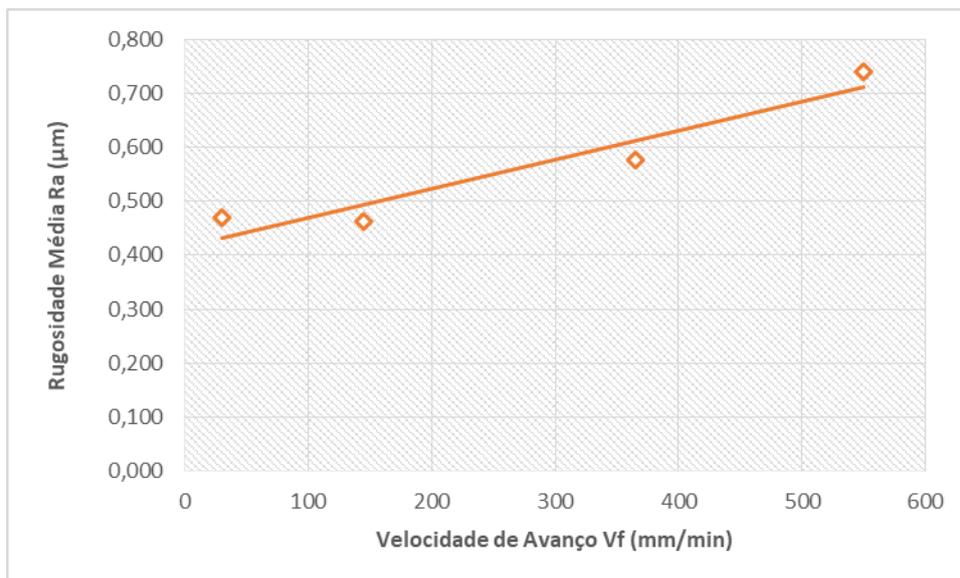
Fonte: Elaborado Pelo Autor

O gráfico acima expõe a tendência na redução dos valores de rugosidade média Ra quando se aumenta a velocidade de avanço V_f durante a usinagem, considerando o material objeto de estudo neste trabalho (alumínio 6061).

Sabendo que a grandeza velocidade de avanço V_f é dado pelo produto dos parâmetros avanço (f) e rotação (n), os resultados sugerem que o aumento do avanço levou à redução da rugosidade, uma vez que a rotação permaneceu constante durante toda a usinagem.

Os resultados também sugerem que embora tenha ocorrido o aumento da Força de Avanço F_f com o aumento de V_f , isto não foi o suficiente para causar na ferramenta uma maior amplitude de vibração a ponto de elevar a rugosidade da peça usinada. Acredita-se que o pequeno valor atribuído ao parâmetro a_p tenha contribuído para a maior rigidez do sistema peça-ferramenta.

Gráfico 2 – Ra em função da velocidade de avanço para uma profundidade de corte de 14 mm



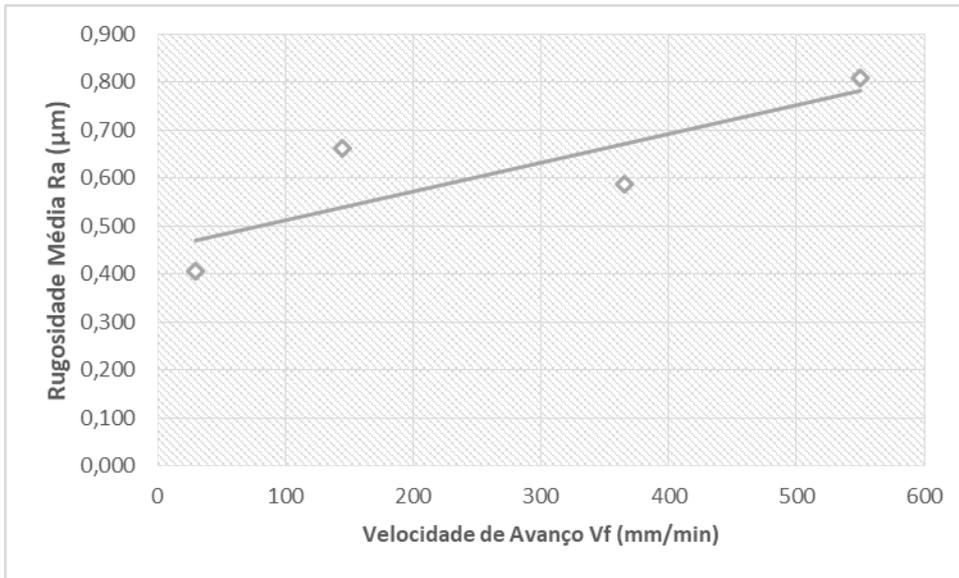
Fonte: Elaborado Pelo Autor

O gráfico acima expõe tendência no aumento da Rugosidade média Ra quando se aumenta a velocidade de avanço V_f durante a usinagem considerando o mesmo material de estudo citado acima.

Considerando as grandezas citadas acima, a variação da velocidade de avanço permaneceu no mesmo intervalo, a rotação (n) permaneceu no seu valor constante e a grandeza profundidade de corte foi alterada para o valor de 14 mm, ou seja, o dobro do exposto no Gráfico 1.

A partir do Gráfico 2, pode-se inferir que para uma profundidade de corte a_p de 14 mm, que representa o valor do diâmetro da ferramenta, o valor da rugosidade média Ra aumenta proporcionalmente ao aumento da velocidade de avanço V_f . Acredita-se, portanto, que esse valor da grandeza a_p seja suficiente para causar uma maior amplitude de vibrações na ferramenta, podendo influenciar diretamente no aumento da rugosidade média Ra.

Gráfico 3 – Ra em função da velocidade de corte para uma profundidade de corte de 21 mm



Fonte: Elaborado pelo Autor

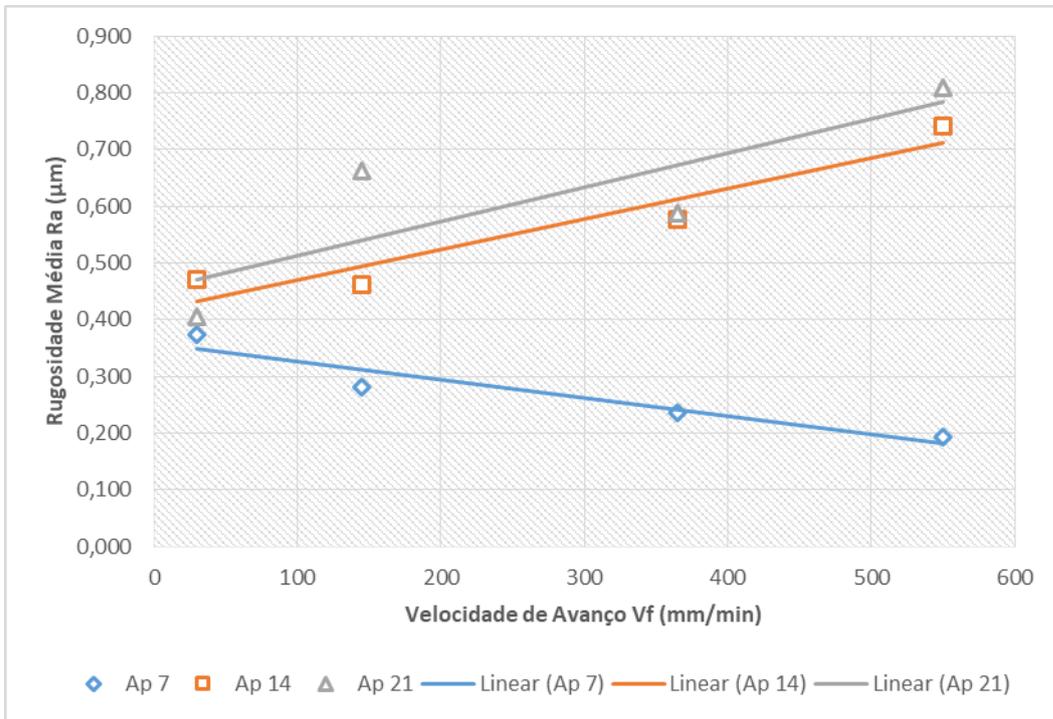
O gráfico acima expõe a tendência da rugosidade média R_a em relação a velocidade de avanço V_f .

Considerando como o que foi exposto anteriormente, a grandeza rotação n permanece constante, a velocidade de avanço V_f varia no mesmo intervalo considerado anteriormente e a profundidade de corte a_p foi alterada para o valor de 21 mm, valor este que é 50% maior que o diâmetro da ferramenta.

A partir do Gráfico 3, pode-se inferir que a rugosidade média R_a aumenta em termos proporcionais a velocidade de avanço V_f . Acredita-se que o valor da grandeza a_p , considerada nesse caso, seja o suficiente para causar uma maior amplitude de vibrações na ferramenta e assim aumentar a rugosidade média R_a .

Os resultados também sugerem que o aumento da força de avanço F_f , que é diretamente proporcional à grandeza velocidade de avanço V_f , pode ter gerado um maior valor na rugosidade média R_a .

Gráfico 4 – Ra em função da velocidade de avanço para as 3 profundidades de corte

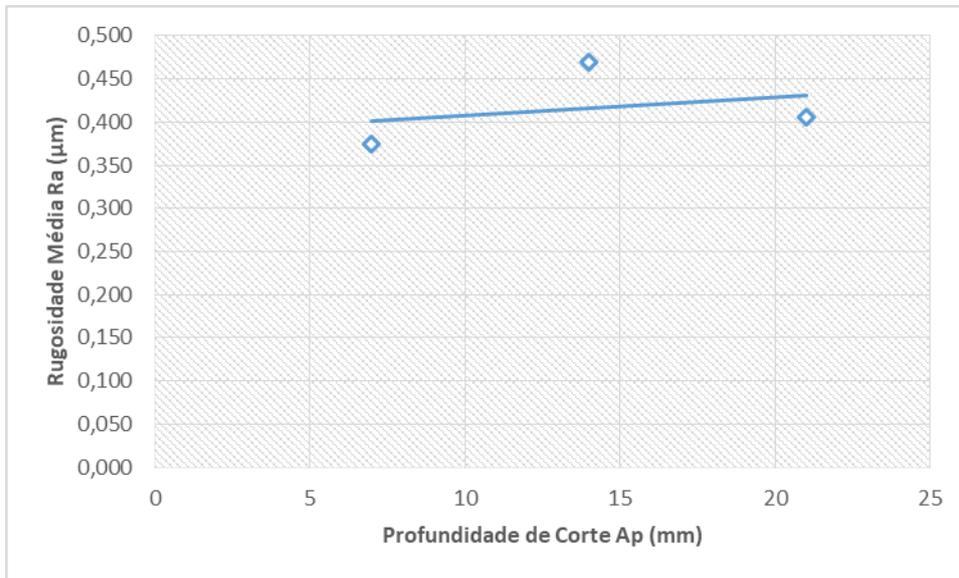


Fonte: Elaborado Pelo Autor

O gráfico acima expõe a tendência da rugosidade média R_a em relação a grandeza V_f para os três casos analisados acima, onde foi variada a grandeza avanço.

A partir da análise do gráfico acima, pode-se constatar que para uma usinagem utilizando uma profundidade de corte a_p de 7 mm, a rugosidade média R_a tende a diminuir com o aumento da grandeza V_f . Já para uma profundidade de corte de 14 mm e de 21 mm, a rugosidade média R_a tende a aumentar. A medida que grandeza V_f vai aumentando, constata-se que a diferença entre a rugosidade média R_a para um a_p 7mm e 14 mm, por exemplo, aumenta.

Gráfico 5 – Ra em função da profundidade de corte para uma velocidade de avanço de 30 mm/min



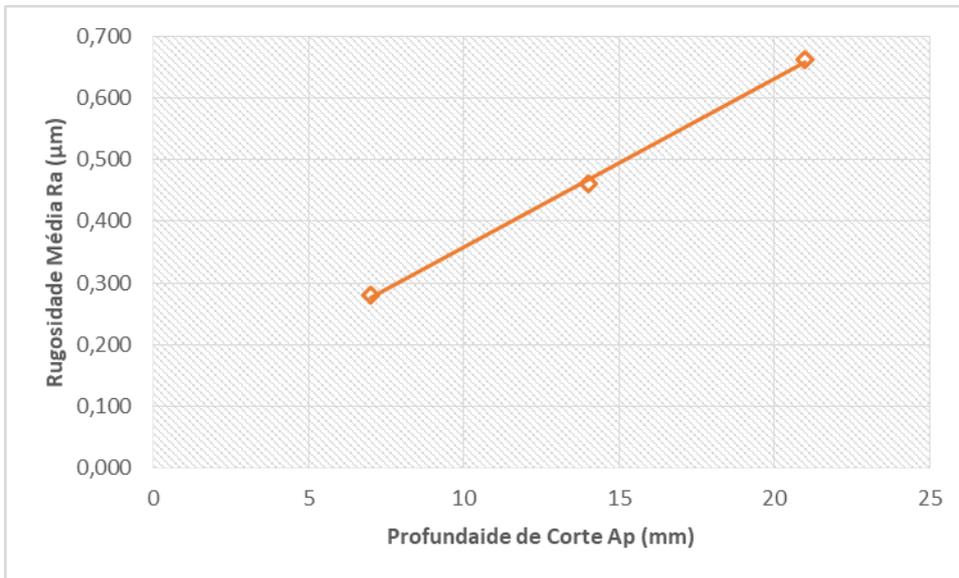
Fonte: Elaborado pelo Autor

O gráfico acima expõe a tendência da rugosidade média R_a em relação a grandeza a_p para uma mesma velocidade de avanço V_f .

Pode-se inferir que para esse valor da grandeza V_f , a rugosidade média R_a teve um aumento linear pouco significativo, ou seja, seu valor não aumentou muito.

Acredita-se que isto se deve ao pequeno valor da grandeza V_f , onde o mesmo não foi suficiente para causar grandes amplitudes de vibrações na ferramenta e assim aumentar de forma significativa a rugosidade média R_a .

Gráfico 6 – Ra em função da profundidade de corte para uma velocidade de avanço de 145 mm/min



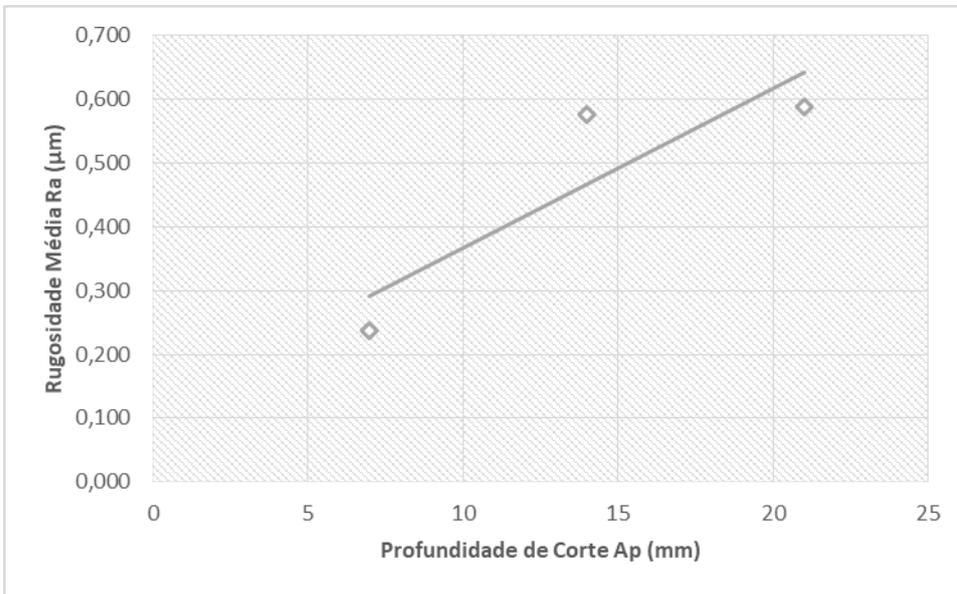
Fonte: Elaborado Pelo Autor

O gráfico acima expõe a tendência da rugosidade média Ra em relação a grandeza a_p para uma mesma velocidade de avanço V_f .

Pode-se inferir que para esse valor da grandeza V_f , a rugosidade média Ra teve um aumento significativo para as três grandezas a_p .

Acredita-se que esse valor de V_f foi suficiente para causar grandes amplitudes de vibrações na ferramenta, aumentando assim a rugosidade média Ra. Pode-se inferir também que os a força de avanço F_f tenha influenciado no aumento da rugosidade média Ra.

Gráfico 7 – Ra em função da profundidade de corte para uma velocidade de avanço de 365 mm/min



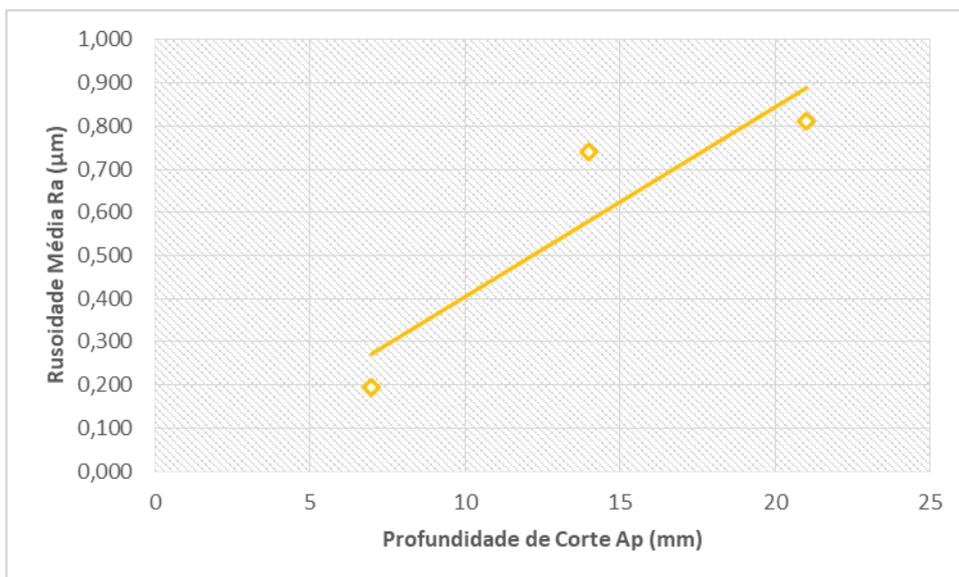
Fonte: Elaborado pelo Autor

O gráfico acima expõe a tendência da rugosidade média R_a em relação a grandeza a_p para uma mesma velocidade de avanço V_f .

Pode-se inferir que para esse valor da grandeza V_f a rugosidade média R_a cresce a medida que a grandeza a_p também cresce.

Acredita-se que esse valor de V_f foi suficiente para causar grandes amplitudes de vibrações na ferramenta, aumentando assim a rugosidade média R_a . Pode-se inferir também que os a força de avanço F_f tenha influenciado no aumento da rugosidade média R_a .

Gráfico 8 – Ra em função da profundidade de corte para uma velocidade de avanço de 550mm/min



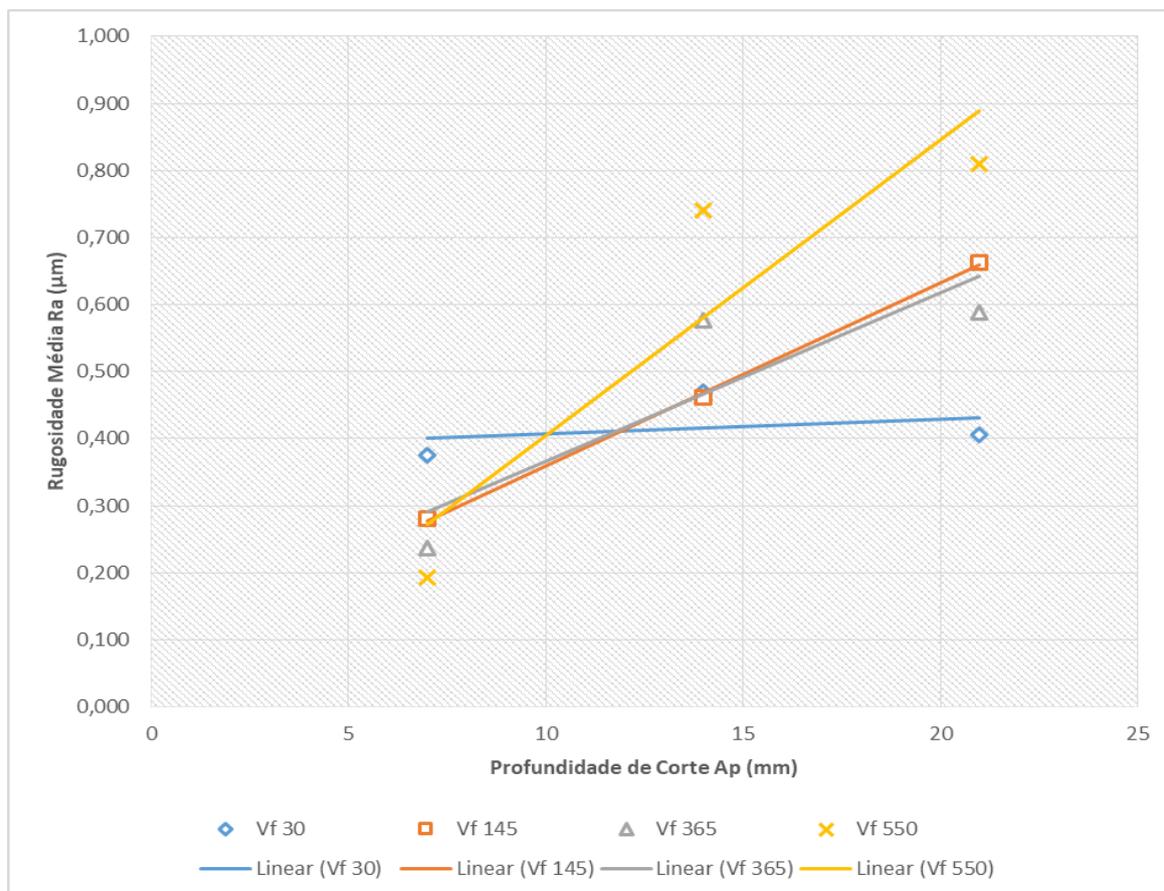
Fonte: Elaborado Pelo Autor

O gráfico acima expõe a tendência da rugosidade média R_a em relação a grandeza a_p para uma mesma velocidade de avanço V_f .

Pode-se inferir que para esse valor da grandeza V_f a rugosidade média R_a cresce a medida que a grandeza a_p também cresce.

Acredita-se que esse valor de V_f foi suficiente para causar grandes amplitudes de vibrações na ferramenta, aumentando assim a rugosidade média R_a . Pode-se inferir também que os a força de avanço F_f tenha influenciado no aumento da rugosidade média R_a .

Gráfico 9 – Ra em função da profundidade de corte para todas as velocidades de avanço



Fonte: Elaborado Pelo Autor

O gráfico acima expõe a tendência da rugosidade média R_a em função da grandeza a_p para todos os valores da grandeza V_f considerados nesse trabalho.

Pode-se concluir que para um valor de 550 mm/min da grandeza V_f , têm-se um maior aumento da rugosidade média R_a em função do aumento da grandeza a_p , pois como mostra o gráfico, a linha que representa esse valor de V_f possui uma maior inclinação em relação as outras.

Acredita-se também que esse maior aumento da rugosidade média R_a ocorreu devido ao valor da grandeza V_f ser o maior valor encontrado na máquina, ou seja, maior solicitação de trabalho, podendo gerar assim uma maior força de avanço F_f e também maiores amplitudes de vibração na ferramenta.

Nota-se, também, que a linha de tendência que representa os valores de 145 mm/min e 365 mm/min da grandeza V_f possuem praticamente a mesma inclinação. Isso mostra que para esses dois valores de V_f a rugosidade média R_a variou praticamente da mesma forma.

5. Conclusão

Conclui-se, portanto, que utilizando uma ferramenta de aço rápido (HSS) o material de estudo sendo a liga de alumínio 6061 e o processo de usinagem sendo fresagem do tipo tangencial, com o aumento da velocidade de avanço V_f e da profundidade de corte a_p , a rugosidade média R_a aumenta, com exceção do processo utilizando a profundidade de corte a_p de 7 mm . Isso se deve ao aumento da força de avanço F_f que aumenta com o aumento de V_f e que gera maiores amplitudes de vibrações na ferramenta, afetando diretamente a eficiência da ferramenta e conseqüentemente a qualidade superficial da peça.

Para trabalho futuro, recomenda-se a análise de como a variação dos parâmetros utilizados nesse trabalho influenciam nas tolerâncias geométricas como paralelismo, retilinidade e planicidade.

REFERÊNCIAS

CHIAVERINI, V.; **Tecnologia Mecânica**. 2.ed. – São Paulo: McGraw-Hill, 1986. 315p.

DINIZ, A.; MARCONDES, F.; COPPINI, L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**.8. ed. São Paulo, SP: Artliber Editora, 2013. 270 p.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo,SP: Editora Edgard Blücher, 2013. 751 p.

FERREIRA, J. C. E. **Apostila. Capítulo 2: Precisão e Erros de Usinagem**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em:
< http://www.grima.ufsc.br/capp/apostila/Cap2ApostCAPP_v2.pdf >. Acesso: 5 out. 2017.

FILHO, P. A., **Rugosidade Superficial, 3º Seminário de Metrologia da Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, 2011. Disponível em:
<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAD9UAA/metrologia-rugosidade>>. Acesso em: 19 out. 2017.

SANDVIK COROMANT; **Modern Metal Cutting – A Practical Handbook**. AB Sandvik Coromant, Suécia, 1994.

WEINGAERTNER, L. W.; SCHROETER, B. R. **Tecnologia de Usinagem do Alumínio e Suas Ligas**. 2. ed. São Paulo: Alcan Alumínio do Brasil, 1991. 80 p.

ANEXO 1 – TABELA COM OS VALORES DOS PARÂMETROS DE ENTRADA

Parâmetros de Entrada					
N (RPM)	Ae(mm)	Fluido	Movimento	ap(mm)	Vf(mm/min)
3056	1	Sem	Concordante	7	30
					145
					365
					550
				14	30
					145
					365
					550
				21	30
					145
					365
					550

Fonte: Elaborado Pelo Autor