



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
REDE NORDESTE AEROESPACIAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AEROESPACIAL

GEORGE MARINHO DO NASCIMENTO

**INFLUÊNCIA DA PROTEÇÃO GASOSA INERTE NO DESGASTE DE FLANCO E
RUGOSIDADE NO TORNEAMENTO DA LIGA Ti-6AL-4V PARA APLICAÇÕES
AEROESPACIAIS**

Recife
2023

GEORGE MARINHO DO NASCIMENTO

**INFLUÊNCIA DA PROTEÇÃO GASOSA INERTE NO DESGASTE DE FLANCO E
RUGOSIDADE NO TORNEAMENTO DA LIGA Ti-6AL-4V PARA APLICAÇÕES
AEROESPACIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeroespacial (Rede) da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências Aeroespaciais.
Área de concentração: Ciências e Tecnologias Aeroespaciais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto do Nascimento Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. José Eduardo Ferreira de Oliveira.

Recife

2023

N244i

Nascimento, George Marinho do.

Influência da proteção gasosa inerte no desgaste de flanco e rugosidade no torneamento da liga Ti-6Al-4V para aplicações aeroespaciais / George Marinho do Nascimento, 2023.

120 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto do Nascimento Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. José Eduardo Ferreira de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeroespacial (rede). Recife, 2023.

Inclui referências e anexos.

1. Engenharia aeroespacial. 2. Usinagem com proteção gasosa. 3. Torneamento da liga Ti6Al4V. 4. Acabamento superficial. 5. Desgaste de flanco. I. Oliveira, Carlos Augusto do Nascimento (Orientador). II. Oliveira, José Eduardo Ferreira de (Coorientador). III. Título.

629.1CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG / 2024 - 12

GEORGE MARINHO DO NASCIMENTO

**INFLUÊNCIA DA PROTEÇÃO GASOSA INERTE NO DESGASTE DE FLANCO E
RUGOSIDADE NO TORNEAMENTO DA LIGA Ti-6AL-4V PARA APLICAÇÕES
AEROESPACIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeroespacial, RNA (Rede Nordeste Aeroespacial), da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências Aeroespaciais. Área de concentração: Ciências e Tecnologias Aeroespaciais.

Aprovada em: 28/11/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Augusto do Nascimento Oliveira (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Oscar Olímpio de Araújo Filho (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Rodrigo José Ferreira da Silva (Examinador Externo)
Instituto Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Rogério Pontes de Araújo (Examinador Externo)
Universidade de Pernambuco

Prof. Dr. José Eduardo Ferreira de Oliveira (Coorientador)
Instituto Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

À escola pública sem a qual eu não estaria redigindo estas palavras pois, desde os meus primeiros passos na formação profissional, CFPJ (centro de formação profissional de Jaboatão), até aqui na defesa deste título de mestre na UFPE (universidade federal de Pernambuco), a escola pública foi o instrumento de resgate e inclusão para um jovem suburbano, preto e pobre, cuja sorte seria mudada pela escola de formação profissional gratuita e de qualidade.

Aos meus pais, Jorge Marinho do Nascimento *“in memoriam”* e Josefa Olindina do Nascimento que, apesar do nível fundamental de educação, tiveram a sabedoria de priorizar a educação aos 11 filhos.

À minha Companheira Mônica pela espera nos momentos de minha ausência, pela paciência nos muitos momentos de stress e por toda a motivação a mim concedida no decorrer de cada etapa dessa jornada. Aos meus filhos: Rodrigo, Lucas e Gabriel simplesmente por existirem e serem a grande motivação para todas as minhas lutas.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Carlos Augusto do Nascimento Oliveira (Orientador) e Prof. Dr. José Eduardo Ferreira de Oliveira. (Coorientador), pela aceitação e orientação do meu trabalho e por terem proporcionado as melhores condições para realização e conclusão deste projeto de pesquisa. Ao professor Clóvis Gois de Lacerda Filho pelo apoio incondicional dispensado na fase experimental no torneamento CNC. Ao professor Renato Soares de Castro pelo apoio na fase de medição dos desgastes das ferramentas. Aos professores Sergio José Pessoa da Silva Barreto e Perinaldo Severino Junior pelo apoio dispensado nos métodos matemáticos. A todos os colegas do IFPE – CACTM que, de alguma forma, contribuíram, apoiando, incentivando, estando a disposição.

Aos amigos que fiz durante todo curso de mestrado e estiveram presentes em todos os momentos em especial: Vagner Alves De Macena *“in memoriam”* e Moisés Euclides da Silva Junior com colaborações efetivas na construção do nosso trabalho.

À UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, (PPGAERO/PPGEA), ao IFPE Direção Geral do Campus Recife – DGCR, Coordenação Acadêmica do Curso Técnico em Mecânica (CACTM). Por fim a DEUS que é o princípio e sem os seus desígnios nada disso teria acontecido. Obrigado SENHOR!!!

RESUMO

A liga de titânio aeroespacial Ti6Al4V é aplicada para fabricação de eixos de turbinas de aviões e naves de missões espaciais e o principal processo de fabricação empregado é torneamento. Todavia, por ser um material com resistência mecânica elevada e propriedades termofísicas baixas torna-se um material de difícil usinabilidade. A literatura aponta que há diversos meios lubrificarrefrigerantes para minimizar o calor gerado e diminuir seus efeitos no desgaste de flanco, mas não há um consenso ainda se a usinagem a seco, com jorro ou com mínima quantidade de líquido é alternativa mais viável em relação a questões econômicas e sustentabilidade do processo, uma vez que a integridade da peça precisa ser avaliada. A hipótese que fundamenta esta investigação é a aplicação do argônio na interface, inserto/peça, objetiva a diminuição dos mecanismos de oxidação pois, estes promovem difusão de materiais e adesão destes nos insertos, causando interferências prejudiciais ao processo de torneamento deste material que tem grandes aplicações na indústria aeroespacial. A proposta desta pesquisa é avaliar a influência do uso do gás argônio como um meio de refrigeração e proteção da região de corte contra os efeitos da oxidação no desgaste de flanco e rugosidade aritmética média (Ra). Ensaio em um centro de torneamento foram realizados utilizando três meios lubrificarrefrigerantes através das técnicas de jorro a baixa pressão, corte sem utilização de fluido, e argônio. A ferramenta utilizada foi um inserto circular para minimizar a formação de picos e os avanços utilizados foram 0,19, 0,42 e 0,76 mm/rotação. Uma metodologia estatística foi adotada diferente da norma ISO 3685:1993 levando em consideração que apenas média e desvio padrões não são os únicos fatores a serem utilizados. Os resultados analisados demonstraram que para avanços de 0,19 e 0,76 não há diferenças entre os meios lubrificarrefrigerantes, todavia para o avanço médio de 0,42 mm/rotação o torneamento com argônio evidenciou menores valores de desgaste de flanco e minimização do Ra. A utilização de argônio pode ser uma alternativa viável para a minimização do desgaste de flanco em avanços médios para as condições de corte em insertos com perfil geométrico redondo e uma alternativa ao corte a seco.

Palavras-chave: usinagem com proteção gasosa; torneamento da liga Ti6Al4V; acabamento superficial; desgaste de flanco.

ABSTRACT

The aerospace titanium alloy Ti6Al4V is applied in the production of turbine shafts for aircraft and space mission ships, and the main manufacturing process used to this end is turning. However, since this alloy is a material with high mechanical resistance and low thermophysical properties, machining can become difficult. The literature points out that there are several lubricant means to minimize the heat generated and reduce its effects on flank wear, but there is still no consensus on whether dry machining, using a jet or a minimum amount of liquid is a more viable alternative in relation to economic issues and sustainability, given that the integrity of the machined part needs to be evaluated. The hypothesis that underpins this investigation is the application of Argon at the interface between the part and the insert, aiming to reduce oxidation mechanisms as they promote the diffusion of materials, and their adhesion to the inserts, causing harmful interference to the turning process, whose applications in the aerospace industry are many. The purpose of this research is to evaluate the use of Argon as a means of cooling and protecting the cutting region against the effects of oxidation on flank wear and arithmetic mean roughness (Ra). Tests in a turning center were carried out using three lubricant media using low pressure jetting, dry cutting, and argon techniques. The adopted tool was a circular insert, to minimize the formation of peaks, and the feeds used were 0.19, 0.42 and 0.76 mm/revolution. A statistical methodology was adopted, which differed from the ISO 3685:1993 standard, taking into account that only mean and standard deviations are not the only factors to be applied. The results demonstrated that, for feeds of 0.19 and 0.76, no differences were found when the lubricating media was changed. However for an average advance of 0.42 mm/revolution, turning with Argon produced lower values of flank wear and minimization of Ra . The use of Argon can, therefore, be a viable alternative for minimizing flank wear at medium feeds for cutting conditions in inserts with a round geometric profile and, as such, become an alternative to dry cutting.

Keywords: machining with gas protection; Ti6Al4V alloy turning; surface finishing; flank wear.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Determinação da curva de vida de uma ferramenta (a) desgaste x tempo; (b) Tempo de vida x V_c	26
Figura 2 -	Desgaste de flanco.....	27
Figura 3 -	Alguns parâmetros de rugosidade definidos pela norma DIN EN ISO 4287	30
Figura 4 -	Representação de diferentes superfícies com o mesmo valor de R_a	33
Figura 5 -	Torno DEB'MAQ DMC DL 6T.....	49
Figura 6 -	Adaptação para injeção do argônio: (a) Cilindro de gás; (b) Injeção na interface	49
Figura 7 -	Ferramenta RCMT 16 06 MP-L3 S205 com especificações técnicas	50
Figura 8 -	Porta ferramentas PRGCR 2525M 16.....	50
Figura 9 -	Mapeamento dos setores de corte da ferramenta.....	51
Figura 10 -	Esquema de fixação do material entre placa e ponta	51
Figura 11 -	Fluxograma de medição.....	54
Figura 12 -	Medição de rugosidade (peça presa à máquina)	54
Figura 13 -	Tela do <i>software</i> <i>SAMPLE SIZE CALC</i>	55
Figura 14 -	Distribuição dos pontos de medição de rugosidade no corpo de provas (CP)	56
Figura 15 -	Formulário de coleta de dados experimentais	56
Figura 16 -	Tela inicial do <i>software</i> <i>ACIC Normalidade</i>	57
Figura 17 -	Tela inicial <i>software</i> <i>ANALYSIS</i>	58
Figura 18 -	Relatório de análise gerado pelo <i>software</i> <i>ANALYSIS OUTLIERS</i>	59
Figura 19 -	Microscópio MOTIC BA310Met (a); Borda da ferramenta x 50 (b).....	60
Figura 20 -	Suporte posicionador medição do desgaste de flanco VB (a); Medição de VB (b).....	61
Figura 21 -	Indicações do desgaste de flanco em μm , pastilha 1, setor 5 (1S5) ...	61
Figura 22 -	Aspectos dos desgastes de flanco (VB):(a) 1ºpasse (b) 3ºpasse e (c) 5ºpasse	64
Figura 23 -	Sumário gráfico dos dados do parâmetro R_a , usinagem a seco.....	86

Figura 24 - Sumário gráfico dos dados do parâmetro Ra, usinagem com argônio	86
Figura 25 - Sumário gráfico dos dados do parâmetro Ra, usinagem com fluido de corte	87

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – VB em função do tempo de corte, usinagem a seco, $a = 0,46\text{mm/volta}$	63
Gráfico 2 – Correlação $t_c \times VB$, nível de confiança de 95%, usinagem a seco ..	65
Gráfico 3 – VB em função do tempo de corte, usinagem c/argônio, $a = 0,46\text{mm/volta}$	66
Gráfico 4 – Correlação $t_c \times VB$, nível de confiança de 95%, usinagem com argônio	67
Gráfico 5 – VB em função do tempo de corte, usinagem c/ fluido de corte, $a=0,46\text{mm/volta}$	68
Gráfico 6 – Correlação $t_c \times VB$, nível de confiança de 95%, usinagem com fluido de corte	69
Gráfico 7 – Variação do VB por passe – $0,46\text{ mm/volta}$	70
Gráfico 8 – Box plot para as amostras de VB para $f = 0,19\text{ mm/volta}$, 1º passe	71
Gráfico 9 – Box plot para as amostras de VB para $f = 0,46\text{ mm/volta}$	72
Gráfico 10 – Box plot para as amostras de VB para $f = 0,76\text{ mm/volta}$	74
Gráfico 11 – Box-plot envolvendo os dados de rugosidade das três amostras	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desgaste de flanco “VB” em função do tipo de ferramenta e do tipo de operação	27
Tabela 2 – Valores recomendados para comprimentos de amostragem e de avaliação	31
Tabela 3 - Regra de ouro da interpretação do tamanho da correlação	35
Tabela 4 – Composições, Propriedades Mecânicas e Aplicações Típicas para Várias Ligas Comuns de Titânio	38
Tabela 5 – Composição química (Ti-6Al-4V).....	48
Tabela 6 – Propriedades mecânicas (Ti-6Al-4V).....	48
Tabela 7 – Condições e parâmetros de usinagem	52
Tabela 8 – Valores amostrais do desgaste de flanco - multipasses - a seco - 0,46 mm/volta.....	63
Tabela 9 - Validação da equação de VB para corte a seco – 0,46mm/volta.	64
Tabela 10 – Valores amostrais desgaste de flanco - multipasses - argônio - 0,46 mm/volta.....	65
Tabela 11 - Validação da equação de VB para corte com argônio – 0,46mm/volta.....	67
Tabela 12 – Valores amostrais de desgaste de flanco - multipasses - F. Corte - 0,46 mm/volta.....	68
Tabela 13 - Validação da equação de VB para corte com fluido de corte – 0,46mm/volta.....	69
Tabela 14 – Desgaste de flanco (VB) para $f = 0,19\text{mm/volta}$, 1º passe	71
Tabela 15 – Desgaste de flanco (VB) para $f = 0,46\text{mm/volta}$, 1º passe	72
Tabela 16 – Desgaste de flanco (VB) para $f = 0,76\text{mm/volta}$, 1º passe	73
Tabela 17 – Teste “F” duas amostras para determinação de variância, VB para $f = 0,19\text{ mm/volta}$, corte com fluido de corte x corte a seco	76
Tabela 18 – Teste “t” para duas amostras com variâncias diferente, VB para $f = 0,19\text{ mm/volta}$, corte com fluido de corte x corte a seco	76
Tabela 19 – teste “F” – duas amostras para determinação de variância - VB para $f = 0,19\text{ mm/volta}$, corte com fluido de corte x com atmosfera de argônio	77

Tabela 20 – Teste “t” para duas amostras com variâncias diferentes, VB para f = 0,19 mm/volta, corte com fluído de corte x com atmosfera de argônio	77
Tabela 21 – teste “F” – duas amostras para determinação de variância - VB para f = 0,19 mm/volta, corte a seco e corte com atmosfera de argônio	78
Tabela 22 - Teste t – para duas amostras com variâncias equivalentes - VB para f = 0,19 mm/volta, corte a seco e corte com atmosfera de argônio	78
Tabela 23 - Teste “F” duas amostras para determinação de variância, VB para f = 0,46 mm/volta, corte com atmosfera de argônio x corte a seco	79
Tabela 24 – Teste “t” para duas amostras com variâncias diferentes, VB para f = 0,46 mm/volta, corte com atmosfera de argônio x corte a seco	79
Tabela 25 – Teste “F” duas amostras para determinação de variância, VB para f = 0,46 mm/volta, corte com atmosfera de argônio x fluído de corte.	80
Tabela 26 – Teste “t” para duas amostras com variâncias diferentes, VB para f = 0,46 mm/volta, corte com atmosfera de argônio x fluído de corte .	80
Tabela 27 – Teste “F” duas amostras para determinação de variância, VB para f = 0,46 mm/volta, corte a seco x fluído de corte	81
Tabela 28 – Teste “t” para duas amostras com variâncias equivalentes, VB para f = 0,46 mm/volta, corte a seco x fluído de corte	81
Tabela 29 – Teste “F” – duas amostras para determinação de variância, VB para f = 0,76 mm/volta, corte com fluído de corte x corte a seco	82
Tabela 30 – Teste “t” para duas amostras com variâncias equivalentes, VB para f = 0,76 mm/volta, corte com fluído de corte x corte a seco	82
Tabela 31 – Teste “F” duas amostras para determinação de variância, VB para f = 0,76 mm/volta, corte com fluído de corte x atmosfera de argônio	83
Tabela 32 – Teste “t” para duas amostras com variâncias equivalente, VB para f = 0,76 mm/volta, corte com fluído de corte x atmosfera de argônio	83
Tabela 33 – Teste “F” duas amostras para determinação de variância, VB para f = 0,76 mm/volta, corte a seco x atmosfera de argônio.....	84

Tabela 34 – Teste “t” para duas amostras com variâncias diferentes, VB para $f = 0,76$ mm/volta, corte a seco x atmosfera de argônio.....	84
Tabela 35 – Valores de Ra para a usinagem a seco, com argônio e com fluido de corte	85
Tabela 36 – Dados da ANOVA, considerando-se os três meios (seco, argônio e f. de corte)	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	Alumínio
ap	Profundidade de corte
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CACTM	Coordenação Acadêmica do Curso Técnico em Mecânica
CBN	Nitreto de boro cúbico
CFPJ	Centro de Formação Profissional de Jaboatão
Cl	Cloro
cm	Centímetro
CNC	Comando Numérico Computadorizado
Cr	Cromo
cut-off	Comprimento de amostragem para medição de rugosidade
DGCR	Direção Geral do Campus Recife
DIN	<i>German Institute Standardization</i>
Dr.	Doutor
EN	Norma encaminhada para o nível nacional
f	Avanço de corte
F	<i>Valor calculado da distribuição F</i>
Fase α	<i>Fase hexagonal compacta apresentada pelo titânio puro</i>
Fase β	<i>Fase CCC do titânio</i>
$F_{critico}$	<i>Valor crítico da distribuição F</i>
Fe	Ferro
g	Grama
gl	<i>Graus de liberdade</i>
GPa	Gigapascal
H_0	<i>Hipótese nula, médias populacionais iguais</i>
H_1	<i>Hipótese alternativa, médias populacionais diferentes</i>
IFPE	Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
Km	Quilometro
KT	Profundidade da cratera

<i>L</i>	<i>Comprimento</i>
<i>ln</i>	<i>Comprimento de avaliação de rugosidade</i>
<i>min</i>	Minuto
<i>mm</i>	Milímetro
<i>Mo</i>	Molibdênio
<i>MQ</i>	<i>Variância entre grupos ou dentro do grupo</i>
<i>MQL</i>	Lubre-refrigeração com quantidade mínima de lubrificação
<i>N</i>	Nitrogênio
<i>NBR</i>	Norma Brasileira
$\varnothing$	<i>Diâmetros</i>
<i>O</i>	Oxigênio
<i>PCD</i>	Diamante sintético policristalino
<i>PPGEA</i>	Programa de pós-graduação em engenharia aeroespacial
<i>r</i>	Coeficiente de correlação linear de Pearson
<i>R²</i>	<i>Coeficiente de determinação da regressão polinomial</i>
<i>Ra</i>	Desvio aritmético médio
<i>R_{KU}</i>	Fator de achatamento do perfil
<i>Rq</i>	Desvio médio quadrático
<i>R_{SK}</i>	Fator de assimetria do perfil (skewnss)
<i>Rt</i>	Altura total do perfil
<i>Rz</i>	Altura máxima do perfil
<i>Sn</i>	Estanho
<i>SQ</i>	<i>Variação entre grupos ou dentro do grupo</i>
<i>t_{calc}</i>	<i>t calculado</i>
<i>t_{crit}</i>	<i>t crítico</i>
<i>T</i>	Tempo
<i>t_c</i>	<i>Tempo de corte</i>
<i>Teste F</i>	<i>Razão de duas variâncias</i>
<i>Teste t</i>	<i>Teste t de Student</i>
<i>Ti</i>	Titânio
<i>TI-CP</i>	Titânio comercialmente puro
<i>UFPE</i>	Universidade Federal de Pernambuco
<i>V</i>	Vanádio
<i>VB</i>	<i>Desgaste de flanco</i>

VB_b	Desgaste de flanco médio
VB_C	Falha catastrófica
$VB_{máx}$	Desgaste de flanco máximo
VB_N	Desgaste de entalhe
V_c	Velocidade de corte
$Z(x)$	Ordenadas Z de X no comprimento de amostragem
Zr	Zircônio

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
μm	Micrometro
1S1	<i>Ferramenta 1 flanco de corte 1</i>
1S2	<i>Ferramenta 1 flanco de corte 2</i>
1S3	<i>Ferramenta 1 flanco de corte 3</i>
1S4	<i>Ferramenta 1 flanco de corte 4</i>
1S5	<i>Ferramenta 1 flanco de corte 5</i>
1S6	<i>Ferramenta 1 flanco de corte 6</i>
2S7	<i>Ferramenta 2 flanco de corte 7</i>
2S8	<i>Ferramenta 2 flanco de corte 8</i>
2S9	<i>Ferramenta 2 flanco de corte 9</i>
2S10	<i>Ferramenta 2 flanco de corte 10</i>
2S11	<i>Ferramenta 2 flanco de corte 11</i>
2S12	<i>Ferramenta 2 flanco de corte 12</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	OBJETIVOS	22
2.1	OBJETIVO GERAL	22
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
3.1	O PROCESSO DE TORNEAMENTO	23
3.1.1	Vida da ferramenta de corte	23
3.2	RUGOSIDADE.....	28
3.2.1	Seleção do sistema de medição.....	34
3.3	MÉTODOS DE LUBRI-REFRIGERAÇÃO	35
3.4	TITÂNIO E SUAS LIGAS.....	37
3.4.1	Metalurgia do titânio e suas ligas	38
3.4.1.1	Ligas Alfa (α)	39
3.4.1.2	Ligas Quase Alfa (α).....	40
3.4.1.3	Ligas Beta (β)	41
3.4.1.4	Ligas Alfa-beta ($\alpha + \beta$)	42
3.4.2	Liga Ti-6Al-4V.....	43
4	ESTADO DA ARTE.....	45
5	METODOLOGIA.....	48
5.1	MATERIAIS	48
5.2	USINAGEM	49
5.2.1	Centro de torneamento – CNC.....	49
5.2.2	Ferramenta de corte e suporte	50
5.2.3	Torneamento	51
5.3	PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO	53
5.3.1	Medição de rugosidade.....	54
5.3.2	Teste de normalidade das amostras.....	57
5.3.3	Teste de <i>outliers</i>	57
5.3.4	Medição dos desgastes de flanco, VB, das ferramentas de corte	60
5.3.4.1	Microscópio metalográfico	60
5.3.4.2	Suporte posicionador para medição dos desgastes de flanco das ferramentas de corte.....	60

5.3.4.3	Indicações dos desgastes de flanco (VB).....	61
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
6.1	ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CORTE NO DESGASTE DE FLANCO	62
6.1.1	Corte a seco	62
6.1.2	Corte com atmosfera protetora de argônio	65
6.1.3	Corte com fluido de corte	67
6.2	ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS DADOS AMOSTRAIS	70
6.2.1	Avanço $f=0,19\text{mm/volta}$	71
6.2.2	Avanço $f=0,46\text{mm/volta}$	72
6.2.3	Avanço $f=0,76\text{mm/volta}$	73
6.3	INFERÊNCIAS ESTATÍSTICAS	74
6.3.1	Testes de hipótese para o avanço $f=0,19\text{ mm/volta}$	75
6.3.1.1	Corte com fluido de corte x corte a seco	75
6.3.1.2	Corte com fluido de corte x corte com argônio	76
6.3.1.3	Corte a seco x corte com argônio	77
6.3.2	Testes de hipótese para o avanço $f=0,46\text{ mm/volta}$	79
6.3.2.1	Corte com argônio x corte a seco	79
6.3.2.2	Corte com argônio x corte com fluido de corte	80
6.3.2.3	Corte a seco x corte com fluido de corte	80
6.3.3	Testes de hipótese para o avanço $f=0,76\text{ mm/volta}$	82
6.3.3.1	Corte com fluido de corte x corte a seco	82
6.3.3.2	Corte com fluido de corte x corte com argônio	83
6.3.3.3	Corte a seco x corte com argônio	84
6.4	ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO MEIO DE USINAGEM NO ACABAMENTO SUPERFICIAL	85
7	CONCLUSÕES	89
8	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	92
	REFERÊNCIAS.....	93
	ANEXO A - CERTIFICADO DE QUALIDADE DA LIGA (TI-6AL-4V).....	99
	ANEXO B – FISPQ DO GÁS ARGÔNIO (WHITE MARTINS)	100
	ANEXO C - CATÁLOGO INCERTO RCTM 16 06 MP-L3 S205 (SANDVIK)	112

ANEXO D - CATÁLOGO PORTA FERRAMENTAS PRGCR2525M 16
(SANDVIK) 114
ANEXO E - FISPQ FLUÍDO DE CORTE BIO 100 E (BQL) 116

1 INTRODUÇÃO

As ligas de Titânio são materiais largamente empregados na indústria aeroespacial, pás de turbinas a vapor, construção naval, plataformas *offshore*, nas áreas automotivas e biomédica além de excelentes propriedades mecânicas (relação resistência/peso, rigidez, tenacidade e resistência a fadiga) praticamente inalteráveis em elevadas temperaturas apresentam excelente resistência à corrosão e elevada biocompatibilidade. As ligas de titânio apresentam características como: alta resistência e dureza a quente, baixa densidade e elevada tenacidade à fratura e resistência à corrosão (HOSSEINI; KISHAWY, 2018; ABBAS *et al.*, 2020; ASM HANDBOOK, 1992).

A usinagem de ligas de titânio apresenta desafios distintos durante os processos de corte, o que pode impactar negativamente a qualidade do acabamento superficial do componente usinado e o desempenho geral do processo (ABBAS *et al.*, 2020; BARBOSA, 2014; ASM HANDBOOK, 1992). Esse processo apresenta desafios principalmente devido à sua alta afinidade química, liga/inserto, e baixa condutividade térmica. Essas características resultam em altas temperaturas durante o processo de usinagem (BHAUMIK *et al.*, 1995).

Em um processo de fabricação envolvendo operações de torneamento, menores forças de corte, maior vida útil da ferramenta e bom acabamento superficial, formam uma tríade bastante desejável e importante para a determinação da qualidade e produtividade do processo (KHAN; MAITY, 2018). Um efeito imediato provocado pelo desgaste de flanco é o aumento do atrito entre a ferramenta e a peça trabalhada que, dentre outros aspectos nocivos ao processo, provoca o aumento da força de corte que, por sua vez, aumentará as vibrações na máquina e isso tem ligação direta com as variações dimensionais e de qualidade de superfície das peças torneadas (OLIVEIRA, 2009).

Insertos e fluídos de corte representam até 21% dos custos globais de produção. Na usinagem do titânio e suas ligas verifica-se de 2 a 4% para os insertos e em torno de 17% para os fluídos de corte (JAMIL *et al.*, 2019). A utilização destes fluídos melhora a usinabilidade, porém do ponto de vista econômico e ecológico, acarretam riscos à saúde dos operadores e podem causar grandes prejuízos ao meio ambiente se os resíduos resultantes não forem adequadamente descartados. O método de lubri-refrigeração com quantidade mínima de lubrificação (MQL) atenua o

impacto ambiental ao mesmo tempo que melhora significativamente a vida útil das ferramentas e a qualidade da superfície usinada (JAMIL *et al.*, 2019).

Na indústria aeronáutica, a fabricação de peças usinadas é caracterizada por altos custos, sendo um dos principais fatores o custo hora/máquina. Portanto, é vantajoso reduzir os tempos de usinagem das peças e aumentar a vida da ferramenta, uma vez que os custos por hora na indústria aeronáutica são mais elevados em comparação com as indústrias convencionais (LOPÉZ DE LACALLE; GODINO-LLORENTE; SANCHEZ, 1998).

Portanto, torna-se necessário otimizar as condições de usinagem ao lidar com essas ligas. É fundamental buscar abordagens e estratégias que minimizem o acúmulo de calor e garantam uma remoção eficiente de cavacos, a fim de evitar problemas como o desgaste excessivo da ferramenta, deformações da peça e redução da vida útil das ferramentas de corte. Além disso, a seleção adequada de parâmetros de usinagem, como velocidade de corte, avanço e refrigeração, desempenha um papel crucial na obtenção de resultados satisfatórios durante a usinagem de ligas de titânio (ABBAS *et al.*, 2020; ASM HANDBOOK, 1992).

Diante do exposto, o estudo das variações dimensionais e de acabamento superficial em função do desgaste das ferramentas, com o objetivo de estabelecer relações de comportamento a partir da observação e ajuste de parâmetros, é uma ótima oportunidade de melhoria para as condições de trabalho de um material tão importante para a indústria aeroespacial.

O referido trabalho visa mensurar os desgastes de flanco dos insertos por hora trabalhada para o torneamento, de acabamento, da liga Ti-6Al-4V em torno CNC, em três condições de lubri-refrigeração distintas: corte a seco, corte com fluído de corte por jorro a baixa pressão e corte com atmosfera inerte – argônio, correlacionando o desgaste de flanco com as condições de lubri-refrigeração.

Dentre os resultados encontrados estão: o aumento de vida útil do inserto quando a usinagem de acabamento ocorre com o avanço médio ($f = 0,46\text{mm/volta}$) em atmosfera protetora de argônio; quando aplicado o avanço, em seu limite inferior ($f = 0,19\text{mm/volta}$) ou superior ($f = 0,76\text{mm/volta}$), o inserto terá maior longevidade quando da utilização do fluído de corte por jorro a baixa pressão. Os avanços aplicados no experimento encontram-se dentro dos limites especificados pelo fabricante dos insertos utilizados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Mensurar os desgastes de flanco, por hora trabalhada, dos insertos no torneamento de acabamento da liga ti-6Al-4V em três condições de lubri-refrigeração distintas: com fluído de corte por jorro a baixa pressão, com fluído de corte gasoso – argônio e corte a seco correlacionando o desgaste de flanco com as condições de lubri-refrigeração.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar em função das recomendações do fabricante a seleção dos insertos específicos tanto para o material (Ti-6Al-4V) quanto para a operação, torneamento de acabamento;
- Realizar usinagem de acabamento no material (Ti-6Al-4V) utilizando: Corte a seco, corte com fluído de corte por jorro a baixa pressão e corte com atmosfera protetora de argônio;
- Obter um modelo matemático para as variações dos desgastes de flanco das ferramentas de corte, em função do tempo de corte, em diferentes condições de usinagem para previsão do tempo de vida útil dos insertos;
- Apresentar graficamente a relação entre as variações de cada parâmetro dimensional e de rugosidade em função do desgaste das ferramentas;
- Correlacionar o desgaste de flanco como acabamento superficial.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo deste capítulo é fornecer uma revisão da literatura sobre a usinagem de ligas de titânio, reunindo informações essenciais que embasem teoricamente este trabalho. Serão enfatizados os seguintes tópicos: o processo de torneamento, as propriedades do titânio e suas ligas, lubrificantes líquidos, gasosos e as técnicas de lubri-refrigeração aplicadas na usinagem.

3.1 O PROCESSO DE TORNEAMENTO

Dentre os processos de fabricação supracitados, o torneamento destaca-se como um dos mais utilizados na indústria metalmeccânica, desde os tempos remotos, devido a sua versatilidade. O torneamento é utilizado na indústria para a obtenção de superfícies de revolução. Nesse processo, são empregadas uma ou mais ferramentas monocortantes (ferramentas que possuem apenas uma aresta cortante) para assim executar as etapas de usinagem (MOURA, 2017; FERRARESI, 1970).

Segundo Machado *et al.* (2015) e Ferraresi (1970), em relação à finalidade o processo de torneamento pode ser classificado em dois tipos, torneamento de desbaste e torneamento de acabamento. Durante as operações de desbaste, é comum o emprego de baixas velocidades de corte associadas a avanços e profundidades de corte maiores. Isso resulta em uma elevada taxa de corte, porém com um acabamento superficial menos refinado na peça usinada. Por outro lado, nas operações de acabamento, tende-se a utilizar velocidades de corte mais altas, com avanços e profundidades de corte menores. Consequentemente, ocorre uma redução na taxa de corte do material, proporcionando um acabamento superficial mais preciso e aprimorado na peça usinada.

3.1.1 Vida da ferramenta de corte

Independentemente da alta dureza e resistência ao desgaste das ferramentas de corte, e da menor resistência mecânica da peça de trabalho, é inevitável que a ferramenta de corte sofra desgaste ao longo do tempo, o que eventualmente exigirá sua substituição (MACHADO *et al.*, 2015).

A vida útil da ferramenta pode ser descrita como o período em que ela desempenha efetivamente suas funções de corte, até atingir um critério predefinido de fim de vida. Normalmente, o desgaste da ferramenta é o principal indicador que determina o fim de sua vida útil. Existem diversos fatores que influenciam o término da vida útil da ferramenta e, conseqüentemente, o valor máximo de desgaste alcançado (FERRARESI, 1970).

É de extrema importância o estudo e a compreensão do processo de desgaste das ferramentas, pois isso viabilizará a tomada de decisões coerentes e eficazes para reduzir sua taxa de desgaste, prolongando assim a vida útil da aresta de corte. Embora os custos com ferramentas de corte representem apenas uma pequena fração dos custos de fabricação, desgaste acelerado ou danos frequentes resultam em interrupções da máquina para substituição, acarretando custos adicionais e perda de produtividade. Além disso, o conhecimento do processo de desgaste da aresta proporciona subsídios para o desenvolvimento contínuo de materiais de ferramentas, tornando-as mais resistentes aos fenômenos adversos que ocorrem durante o processo de usinagem (MACHADO *et al.*, 2015).

Segundo Machado *et al.* (2015), existem três fenômenos que podem levar à perda de eficácia de uma ferramenta de corte durante o processo de usinagem: avaria, desgaste e deformação plástica. Embora alguns autores considerem a deformação plástica como um mecanismo de desgaste, esses três fenômenos resultam em alterações na geometria da aresta de corte. Os dois primeiros geralmente envolvem perda de material, enquanto o último envolve apenas o deslocamento do material.

Segundo Ferraresi (1970), diversos fatores contribuem para o fim da vida útil da ferramenta e, conseqüentemente, para o valor máximo de desgaste observado. Esses fatores incluem:

- Risco de quebra da aresta de corte: O desgaste excessivo da ferramenta aumenta a probabilidade de quebra da aresta de corte, o que compromete sua funcionalidade;
- Temperaturas elevadas nas superfícies de contato da ferramenta: O calor gerado durante o processo de usinagem pode causar danos térmicos à ferramenta, resultando em um desgaste acelerado;
- Incapacidade de manter tolerâncias dimensionais especificadas: Com o desgaste da ferramenta, torna-se mais difícil manter as tolerâncias dimensionais desejadas, o que afeta a qualidade da peça usinada;

- Acabamento superficial insatisfatório: O desgaste da ferramenta pode resultar em um acabamento superficial de baixa qualidade, afetando a estética e as propriedades funcionais da peça usinada;
- Aumento das forças de usinagem: À medida que a ferramenta desgasta, as forças de usinagem tendem a aumentar, o que pode afetar negativamente a estabilidade do processo e a vida útil da ferramenta;
- Aumento excessivo de ruído e vibração: O desgaste da ferramenta pode levar a níveis mais altos de ruído e vibração durante a operação de usinagem, causando desconforto ao operador e indicando a necessidade de substituição da ferramenta.

O controle dos fatores supracitados, possibilita a determinação do momento adequado para substituição ou afiação da ferramenta de corte. No entanto, muitas vezes é necessária a habilidade do operador para identificar os sintomas de fim de vida da ferramenta e evitar possíveis danos maiores à própria ferramenta, à peça usinada ou até mesmo à máquina-ferramenta, causados por uma falha catastrófica da ferramenta (MILAN, 1999).

De acordo com Milan (1999), para evitar esse problema, após estabelecer os critérios adequados, é possível utilizar parâmetros para expressar a vida útil da ferramenta, tais como:

- Tempo total de trabalho (min);
- Percurso de corte (km);
- Percurso de avanço (mm);
- Número de peças produzidas;
- Volume de material removido;
- Tempo de vida para uma determinada V_c .

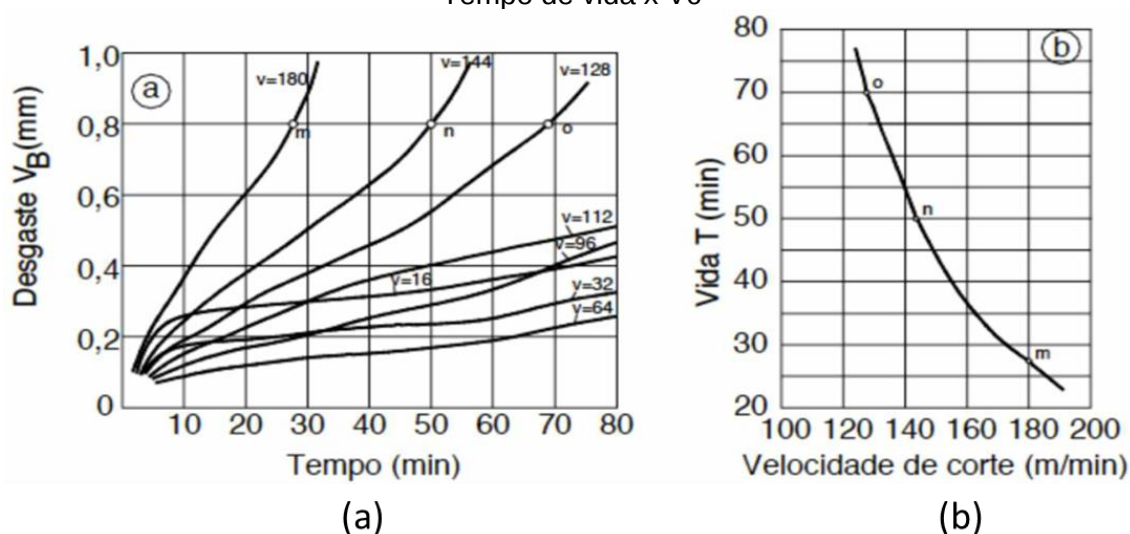
As curvas de vida de uma ferramenta são representações gráficas que expressam a relação entre a vida útil da ferramenta, medida em tempo efetivo, geralmente em minutos, e a velocidade de corte (v_c). Além disso, a vida da ferramenta pode ser quantificada por outros fatores, tais como: o tempo total de uso (t_c), o comprimento de corte (L) e o avanço (f) (MOURA, 2017).

Essas curvas de vida fornecem informações essenciais para determinar o tempo de trabalho de uma ferramenta antes que seja atingido o nível crítico de

desgaste. Para construir as curvas $T \times V_c$ para uma determinada ferramenta, é necessário primeiramente elaborar gráficos auxiliares que registrem o desgaste da ferramenta em diferentes velocidades de corte e tempos de trabalho, levando em consideração as condições específicas de usinagem, como a geometria da ferramenta, o avanço, a profundidade de corte e a penetração de trabalho (MOURA, 2017).

As representações gráficas apresentadas na Figura 1 (a) e (b), delineiam de modo individual, as curvas de desgaste, de caráter auxiliar, em relação ao tempo de usinagem, quando confrontadas com distintas velocidades de corte, em específicas condições de usinagem. Adicionalmente, é possível observar a curva de vida da ferramenta, estabelecida para um determinado patamar de desgaste de flanco, derivada a partir das curvas de desgaste supramencionadas.

Figura 1 – Determinação da curva de vida de uma ferramenta (a) desgaste x tempo; (b) Tempo de vida x V_c



Fonte: Ferraresi (1970).

Essas curvas auxiliares de desgaste, construídas com base nas curvas de desgaste, revelam informações valiosas acerca da evolução do desgaste ao longo do tempo de usinagem, em diferentes velocidades de corte, proporcionando uma compreensão aprofundada das características relacionadas à vida útil da ferramenta. A curva de vida, obtida por meio da análise dessas curvas de desgaste, fornece uma estimativa precisa do período operacional até que um nível crítico de desgaste de flanco seja alcançado (FERRARESI, 1970; MOURA; SILVA; RESENDE, 2015; MACHADO *et al.*, 2015).

A norma ABNT NBR ISO 3685 (2017) apresenta recomendações de parâmetros para determinar o momento de término da vida útil de ferramentas fabricadas com aço rápido, metal duro e cerâmicas, quando empregadas em operações de desbaste. Esses valores, Tabela 1 são sugeridos como critérios de referência para avaliar o desgaste de flanco, Figura 2, e a degradação dessas ferramentas, visando garantir um desempenho adequado durante o processo de usinagem. São eles:

- Desgaste de flanco médio, $VB_b = 0,30 \text{ mm}$;
- Desgaste de flanco máximo, $VB_{\text{máx.}} = 0,60 \text{ mm}$;
- Profundidade da cratera, $KT = 0,060 + 0,3f$;
- Desgaste de entalhe, $VB_N = 1,00 \text{ mm}$;
- Falha catastrófica, VB_C

Tabela 1 - Desgaste de flanco “VB” em função do tipo de ferramenta e do tipo de operação

Ferramenta	Desgaste	Acabamento	Desbaste
Aço rápido	<i>VB.</i>	0,2 - 0,3	0,35 - 1,0
	<i>VBmax.</i>	-	0,4 - 1,4
	<i>KT</i>	-	0,1 - 0,3
Metal duro	<i>VB.</i>	0,1 - 0,25	0,3 - 0,5*
	<i>VBmax.</i>	-	0,5 - 0,8*
	<i>KT</i>	-	0,1 - 0,2
Metal duro com revestimento	<i>VB.</i>	0,1 - 0,25	0,3 - 0,5
	<i>VBmax.</i>	-	0,4 - 0,7
	<i>KT</i>	-	0,1 - 0,15
Material cerâmico (Al₂O₃)	<i>VB.</i>	0,1 - 0,2	0,25 - 0,3
	<i>KT</i>	-	0,1
Material cerâmico (Si₃N₄)	<i>VB.</i>	0,1 - 0,2	0,25 - 0,5
	<i>KT</i>	-	0,1 - 0,15

Fonte: Ferraresi (1989).

Figura 2 - Desgaste de flanco



Fonte: Geocities.WS beta

3.2 RUGOSIDADE

A condição final de uma superfície usinada é resultante da interação complexa de diversos fenômenos. Esses fenômenos abrangem uma ampla gama de processos, incluindo deformações plásticas, fratura, recuperação elástica, geração de calor, vibração, tensões residuais e, em certos casos, reações químicas (MACHADO *et al.*, 2015). A sinergia desses fatores contribui para a formação da condição final da superfície usinada, determinando sua textura e características específicas (MACHADO *et al.*, 2015).

Segundo Machado *et al.* (2015), todos esses fatores podem ocasionar impactos diversos na integridade da nova superfície, tornando-a suscetível a uma multiplicidade de modificações. Nesse contexto, o conceito de integridade superficial emerge como um constructo abrangente, abarcando um vasto leque de transformações e adaptações experimentadas pela superfície em questão.

Para Almeida (2010), o conceito de integridade superficial é empregado para descrever as condições e a qualidade das superfícies obtidas por meio de processos de usinagem. Essa integridade é o resultado da interação complexa entre a deformação plástica do material, a propagação de trincas, as reações químicas envolvidas e a forma de energia utilizada para a remoção do cavaco.

A qualidade da superfície de peças usinadas é considerada um parâmetro crítico, pois influencia significativamente diversas propriedades mecânicas, tais como vida em fadiga, resistência à corrosão e vida sob fluência. Além disso, atributos funcionais como atrito, desgaste, lubrificação e condutividade térmica e elétrica podem ser afetados pela qualidade da superfície portanto, alcançar um bom acabamento é de extrema importância para assegurar o desempenho funcional adequado de componentes mecânicos (GUPTA; SOOD, 2017).

Segundo Machado *et al.* (2015), a rugosidade de uma superfície é caracterizada por pequenas irregularidades ou microdefeitos resultantes dos efeitos inerentes ao processo de corte, tais como marcas de avanço, desgaste das ferramentas e presença de arestas postiças de corte. Essa rugosidade pode ser quantificada por meio de diversos parâmetros, que serão abordados em momentos subsequentes. Em muitos casos, a rugosidade é utilizada como um parâmetro de

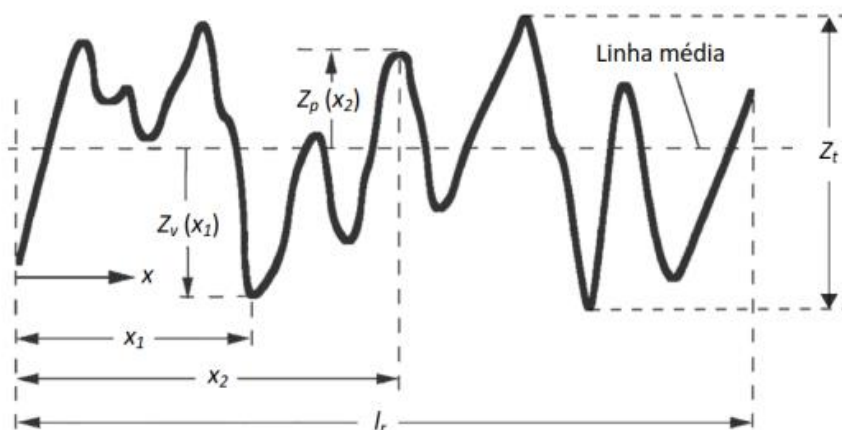
saída para monitorar e controlar um processo de usinagem. De fato, a rugosidade de uma superfície é influenciada por diversos fatores, como a máquina-ferramenta empregada, as propriedades do material da peça, a geometria e o material da ferramenta, bem como as condições operacionais da usinagem.

Almeida (2010) classifica as irregularidades superficiais de acordo com o tipo de superfície ou acabamento, sendo possível agrupá-las em quatro grandes grupos:

- As rugosidades, sendo finas irregularidades decorrentes da natureza intrínseca do processo de corte, nomeadamente as marcas de avanço, são identificadas como pequenas desvios de altura ou profundidade média, sendo mensuradas em uma distância limitada denominada “*cut-off*” (comprimento de amostragem). Embora apresentem outras características, pode-se considerar que a rugosidade e as ondulações compõem a textura de uma superfície;
- As ondulações, por sua vez representam irregularidades superficiais cujos espaçamentos são maiores em cerca de 1 mm em relação ao valor de “*cut-off*”, sendo resultantes de deflexões e vibrações da ferramenta ou da peça;
- As marcas de avanço indicam as direções das irregularidades superficiais, as quais variam de acordo com a orientação da peça e da ferramenta de corte na máquina, bem como pelo movimento relativo entre elas;
- Por fim, as falhas são caracterizadas por interrupções na topografia típica da superfície de um componente, sendo consideradas inesperadas e indesejáveis. Tais falhas são ocasionadas por defeitos, como trincas, bolhas ou inclusões, que podem surgir durante o processo de corte.

Os parâmetros para de avaliação e determinação do perfil do estado da superfície (rugosidade), estão descritos na norma DIN EN ISO 4287 (GPS, 2010). A Figura 3 apresenta alguns desses parâmetros.

Figura 3 – Alguns parâmetros de rugosidade definidos pela norma DIN EN ISO 4287



Fonte: Telles (2018).

Conforme especificado pela norma DIN EN ISO 4287 (GPS, 2010), o eixo x é designado como o eixo de referência para a medição da rugosidade, enquanto as variáveis Z_p , Z_v e Z_t representam, respectivamente, a altura dos picos, a profundidade dos vales e a altura de um elemento do perfil, todos eles avaliados em qualquer posição ao longo do eixo x . O comprimento de amostragem, também conhecido como cut-off (l_r), corresponde ao comprimento na direção do eixo x , empregado para identificar as irregularidades características presentes no perfil em análise. Por sua vez, o comprimento de medição ou de avaliação (l_n) é utilizado para delimitar o perfil em avaliação, sendo também medido na direção do eixo x e podendo abranger um ou mais comprimentos de amostragem.

Existem diversas opções de parâmetros disponíveis para a avaliação da rugosidade, porém a seleção do parâmetro a ser utilizado dependerá da aplicação específica da peça. Conforme estabelecido pela Norma ABNT NBR ISO 4287 (ABNT, 2002), os parâmetros destinados à avaliação de rugosidade de superfícies podem ser delineados conforme consta no Quadro 1.

A norma DIN EN ISO 4287 (GPS, 2010), define o conceito de comprimento de amostragem como sendo a extensão ao longo da direção de avanço da ferramenta de corte, utilizado para identificar as irregularidades distintivas do perfil em análise. Por sua vez, o comprimento de avaliação pode englobar um ou múltiplos comprimentos de amostragem, servindo como base para estabelecer o perfil a ser submetido à avaliação. Para determinação da faixa de rugosidade, a norma DIN EN ISO 4287 (GPS, 2010), A fim de estabelecer um perfil de avaliação abrangente, é sugerido que o comprimento de avaliação seja estabelecido como sendo cinco vezes

o comprimento de amostragem ($l_n = 5 l_r$) para determinada faixa de rugosidade. A Tabela 2 apresenta esses valores conforme estabelecido na DIN EN ISO 4287 (GPS, 2010).

Quadro 1 – Alguns parâmetros de rugosidade

Símbolo	Nome	Definição
R_a	Desvio aritmético médio	Média aritmética dos valores absolutos das ordenadas no comprimento de amostragem.
R_q	Desvio médio quadrático	Raiz quadrada da média dos valores das ordenadas no comprimento de amostragem.
R_t	Altura total do perfil	Soma da maior altura de pico do perfil e da maior profundidade de vale do perfil no comprimento de avaliação.
R_z^*	Altura máxima do perfil	Soma da altura máxima dos picos e a maior das profundidades dos vales no comprimento de amostragem.
R_{sk}	Fator de assimetria do perfil (skewness)	Quociente entre o valor médio dos valores das ordenadas e R_q comprimento de amostragem.
R_{ku}	Fator de achatamento do perfil	Quociente entre o valor médio dos valores das ordenadas à quarta potência e o valor de R_q à quarta potência no comprimento de amostragem.

Fonte: Machado *et al.* (2015).

*A norma DIN define o parâmetro R_z como sendo a média das cinco alturas máximas detectadas em cada comprimento de amostragem.

Tabela 2 – Valores recomendados para comprimentos de amostragem e de avaliação

Faixa de R_a (μm)	Comprimento de amostragem l_r (mm)	Comprimento de avaliação l_n (mm)
Até 0,02	0,08	0,4
De 0,02 a 0,1	0,25	1,25
De 0,1 a 2	0,8	4
De 2 a 10	2,5	12,5
De 10 a 80	8	40

Fonte: Machado *et al.* (2015).

Dentre os parâmetros de amplitude, destaca-se o parâmetro R_a , que corresponde ao desvio aritmético médio do perfil avaliado. Tal parâmetro é amplamente empregado como uma métrica fundamental para o controle do processo de usinagem, uma vez que variações no valor de R_a estão diretamente associadas a alterações no processo, especialmente no que diz respeito ao desgaste da ferramenta

utilizada (MACHADO *et al.*, 2015). O R_a Refere-se à média aritmética dos valores absolutos das ordenadas $Z(x)$ no intervalo de comprimento de amostragem. Este é calculado a partir da Equação, com $l = l_p, l_r$ ou l_w , conforme o caso DIN EN ISO 4287 (GPS, 2010).

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (1)$$

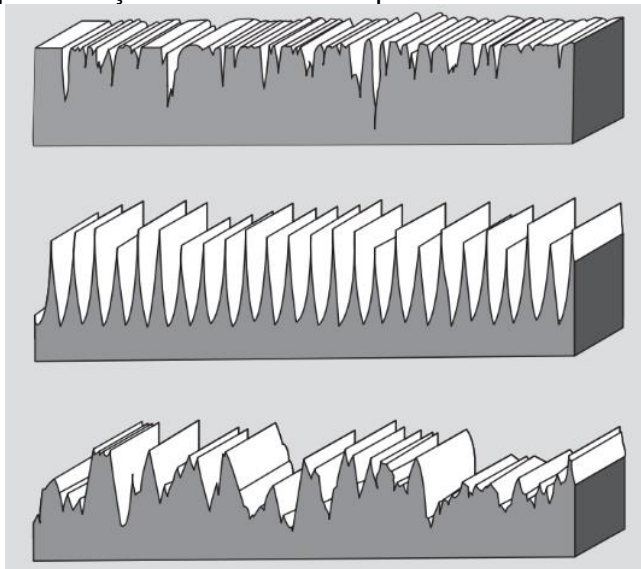
O desvio médio aritmético R_a , amplamente reconhecido como a rugosidade média, emerge como o parâmetro preponderante no monitoramento do processo de usinagem e na avaliação da qualidade do produto, devido à sua mensuração simples e à capacidade de fornecer uma descrição abrangente da amplitude da superfície usinada (PETROPOULOS *et al.*, 2010).

Trata-se de um parâmetro amplamente empregado pela indústria e prontamente acessível em instrumentos de medição de rugosidade de superfície, mesmo nos modelos mais básicos. O parâmetro R_a é especialmente valorizado devido à sua natureza como uma medida média, que se mantém estável e não é afetada por efeitos ocasionais ou transitórios (MACHADO *et al.*, 2015).

O parâmetro R_a , amplamente adotado na prática, é notável por sua capacidade de não ser significativamente influenciado por desvios individuais, o que pode resultar na não consideração de picos ou vales com valores extremamente elevados (NOVASKI, 2013).

Sendo um valor médio, o parâmetro R_a exibe estabilidade e não é suscetível a influências de efeitos ocasionais. No entanto, apesar de suas vantagens, o parâmetro R_a pode resultar em desempenhos de serviço consideravelmente diferentes. Essa disparidade é ilustrada na Figura 4, onde diferentes perfis de superfície apresentam valores idênticos de R_a (MACHADO *et al.*, 2015).

Figura 4 – Representação de diferentes superfícies com o mesmo valor de Ra



Fonte: Machado *et al.* (2015).

O parâmetro R_q , por sua vez, desempenha a função de amplificar os valores associados a picos e vales isolados ou esporádicos, destacando dessa forma defeitos ou marcas presentes em superfícies notavelmente bem acabadas, como é o caso de superfícies de espelhos e lentes. Adicionalmente, o R_q representa o desvio-padrão da distribuição das alturas do perfil em questão (MACHADO *et al.*, 2015).

O R_q , refere-se a raiz quadrada da média dos valores das ordenadas, $Z(x)$, no comprimento de amostragem. Este é calculado a partir da Equação 2, com $l = l_p, l_r$ ou l_w , conforme o caso DIN EN ISO 4287 (GPS, 2010).

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx} \quad (2)$$

O parâmetro R_q desempenha a função de amplificar os valores associados aos picos e vales isolados ou esporádicos, tendo como resultado a capacidade de destacar a presença de imperfeições ou marcas nas superfícies de elevado acabamento, tais como as observadas em espelhos e lentes. Adicionalmente, esse parâmetro reflete o desvio-padrão intrínseco à distribuição das alturas do perfil, fornecendo, assim, uma medida estatística que abrange a variabilidade das características rugosas presentes (MACHADO *et al.*, 2015).

Segundo Machado *et al.* (2015), em situações em que se busca (ou é essencial) estabelecer um limite superior para a altura da rugosidade, é recomendado

o uso dos parâmetros R_t ou R_z , uma vez que esses estão diretamente sensíveis a quaisquer falhas ou irregularidades presentes na superfície em análise.

Para além dos parâmetros previamente estabelecidos, merece destaque a consideração de outros parâmetros de natureza estatística, os quais desempenham um papel fundamental na avaliação da rugosidade. Dentre eles, podem-se mencionar a *skewness* (R_{sk}), que mede a assimetria do perfil, e a *kurtosis* (R_{ku}), que quantifica o grau de achatamento do perfil. Essas medidas estatísticas fornecem uma análise mais abrangente e refinada das características geométricas da superfície em estudo (MACHADO *et al.*, 2015).

3.2.1 Seleção do sistema de medição

Historicamente, a tarefa de definir o processo de medição mais adequado para uma atividade particular foi baseada em uma relação entre tolerância de projeto e incerteza de medição. No entanto, existem outras variáveis que influenciam na escolha do processo de medição mais adequado, como a variabilidade do processo de fabricação e os custos associados aos erros de classificação (OLIVEIRA, 2009). Dentro deste contexto, os métodos atualmente empregados para adequação dos sistemas de medição ao processo são dados de acordo com:

- Resolução do instrumento – considera adequada a utilização de instrumentos de medição com resolução entre 10% e 33% da tolerância;
- Erro máximo do instrumento – considera adequada a utilização de instrumentos de medição com erro máximo dentro da faixa de medição de 25% da tolerância; e
- Incerteza do instrumento de medição – considera adequada a utilização de instrumentos de medição com incerteza entre 10% e 33% da tolerância (ABNT, 2004).

No geral a faixa de rugosidade, R_a , esperada em operações de acabamento varia entre 0,75 e 1,5 μ m. Para ligas de Ti grau 5, utilizando ferramentas com revestimento, ocorreram variações entre 0,89 e 3,85 μ m (KUMAR *et al.*, 2021). No nosso experimento não temos um valor de R_a como parâmetro de medição, portanto não teremos uma tolerância estabelecida para mensurarmos a tolerância do nosso rugosímetro. O rugosímetro utilizado em nosso experimento tem resolução de 0,05 μ m,

com essa resolução estaria adequando para medições cuja faixa de tolerância variasse entre 0,15 e 0,50 μ m, tendo respectivamente um erro máximo do instrumento na faixa de 0,0375 a 0,125 μ m, pôr fim a incerteza do instrumento na faixa de 0,015 e 0,165 μ m.

Para o estudo da correlação entre o tempo de corte e o desgaste de flanco, , a aplicação do coeficiente de correlação linear de Pearson (r) onde o valor de r se situa entre -1 e +1, sendo $r = +1$ uma correlação linear positiva perfeita e $r = -1$ uma correlação linear negativa perfeita. Quando r for igual a zero, não há correlação. A fim de se ter um enquadramento do nível de correlação, a Tabela 3 apresenta a regra de ouro para interpretação da dimensão de correlação entre duas variáveis (MUKAKA, 2012).

Tabela 3 - Regra de ouro da interpretação do tamanho da correlação

Dimensão de correlação	Interpretação
0,90 a 1,00 (-0,90 a -1,00)	Correlação positiva (negativa) muito alta
0,70 a 0,90 (-0,70 a -0,90)	Correlação positiva (negativa) alta
0,50 a 0,70 (-0,50 a -0,70)	Correlação positiva (negativa) moderada
0,30 a 0,50 (-0,30 a -0,50)	Correlação positiva (negativa) baixa
0,00 a 0,30 (-0,00 a -0,30)	Correlação insignificante

Fonte: Mukaka (2012).

3.3 MÉTODOS DE LUBRI-REFRIGERAÇÃO

No âmbito dos sistemas de manufatura, é imprescindível considerar qualquer iniciativa que vise aumentar a produtividade e/ou reduzir os custos. No contexto da usinagem, a utilização adequada de fluidos de corte traz benefícios significativos. A seleção criteriosa de um fluido de corte deve basear-se em sua composição química e propriedades adequadas para lidar com os desafios específicos do processo de corte. Além disso, é crucial aplicar o fluido de corte de maneira que ele alcance a região da aresta de corte na interface entre a ferramenta e o cavaco, a fim de garantir o desempenho efetivo de suas funções (MACHADO *et al.*, 2015; FERRARESI, 1970).

Ferraresi (1970), define fluido de corte com, elementos ou compostos que podem assumir formas sólidas, líquidas ou gasosas e desempenham um papel crucial no processo de usinagem de metais, com o intuito de proporcionar melhorias.

As melhorias resultantes podem ter tanto um caráter funcional quanto econômico. A melhoria funcional é observada por meio do aprimoramento do

desempenho do mecanismo de formação do cavaco, como a facilitação da expulsão do cavaco na região de corte e a maior possibilidade de alcançar as dimensões desejadas na peça, entre outros aspectos. Já a melhoria econômica se reflete no menor consumo de energia durante o processo e no menor desgaste da ferramenta, o que resulta em menor tempo ocioso e custo reduzido da ferramenta por peça usinada (MACHADO *et al.*, 2015; FERRARESI, 1970).

Os fluidos de corte têm passado por avanços significativos em sua fabricação, especialmente no desenvolvimento de novos aditivos. Isso resultou em melhorias nas propriedades refrigerantes e lubrificantes, bem como em maior segurança, durabilidade e facilidade de armazenamento. Esses avanços têm contribuído para aprimorar a eficiência e a qualidade dos processos de usinagem na indústria (MACHADO *et al.*, 2015).

Segundo Machado *et al.* (2015), os fluidos de corte desempenham várias funções essenciais na usinagem. As principais funções dos fluidos de corte são:

- Lubrificação em baixas velocidades de corte, com o propósito de reduzir o atrito entre a ferramenta e a peça, minimizando o desgaste;
- Refrigeração em altas velocidades de corte, para dissipar o calor gerado durante o processo e prevenir o superaquecimento da ferramenta e da peça;
- Remoção dos cavacos da zona de corte, facilitando a eliminação dos resíduos de material e evitando o acúmulo e obstrução no processo de usinagem;
- Proteção da máquina operatriz e da peça contra a oxidação, prevenindo a corrosão e a deterioração dos componentes envolvidos no processo de usinagem.

Apesar dos inúmeros benefícios da utilização de fluido de corte nos processos de usinagem, sua aplicação acarreta diversos custos associados, como a aquisição, armazenamento, preparo, controle em serviço e descarte. Os fluidos de corte representam aproximadamente 16% do custo total de fabricação da peça. É importante considerar que a utilização desses fluidos pode trazer vantagens significativas, mas também pode ser ineficaz ou até mesmo prejudicial ao processo, dependendo de vários fatores, incluindo o tipo de operação, as condições de corte, o material da peça e a ferramenta utilizada. Portanto, a seleção adequada e o

monitoramento constante dos fluidos de corte são essenciais para garantir a eficácia e a otimização dos processos de usinagem.

Diante do exposto a não utilização do fluido de corte, a depender do material e da ferramenta, poderá ser a melhor opção (SAHOO; DATTA, 2020).

3.4 TITÂNIO E SUAS LIGAS

O titânio (Ti) é um elemento metálico de grande importância, ocupa a quarta posição da tabela periódica, possui número atômico 22 e massa atômica 47,90 (BARBOSA, 2014; PETERS *et al.*, 2003).

Segundo Peters *et al.* (2003) e Barbosa (2014), O Ti é o nono elemento mais prevalente na crosta terrestre, sua presença é superada somente pelos elementos ferro, alumínio e magnésio em termos de quantidade encontrada na natureza. O Ti aparece em diversos minerais, porém, é encontrado com maior frequência nos minerais rútilo e na ilmenita.

Atualmente existem ao todo seis tipos de processos disponíveis para a obtenção do titânio metálico, São eles: Hunter, redução eletrolítica, redução gasosa, redução com plasma, redução metalotérmica e o processo Kroll (PEDRINI, 2016). Segundo Barbosa (2014), o processo Kroll é o mais empregado atualmente na obtenção do titânio metálico, este utiliza o cloro como agente redutor.

O processo Kroll substituiu o processo Hunter em escala industrial, este foi criado no ano de 1940 por William Justin Kroll e consiste basicamente na redução do tetracloreto de titânio (TiCl_4) com magnésio metálico, todo o processo consiste em três etapas, são elas, cloração, purificação e redução (KROLL, 1940).

O titânio possui características fundamentais que o tornam amplamente utilizado em diversas áreas. Essas características incluem baixa densidade ($4,5 \text{ g/cm}^3$), tornando-o um metal leve, resistência mecânica notável, que pode ser aprimorada com elementos de liga. Além disso, ele possui um ponto de fusão consideravelmente elevado, cerca de 1.668°C , e módulo de elasticidade de 107 GPa essa característica permite que o titânio seja utilizado em aplicações que requerem resistência mecânica em temperaturas elevadas. Além disso, o titânio apresenta excepcional resistência à corrosão devido à formação de uma camada de óxido (TiO_2), que o protege por meio da passivação, impedindo a corrosão (BARBOSA, 2014; CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2021).

O titânio encontra ampla aplicação em diversas indústrias, tais como: aeronáutica, naval, química, petroquímica e biomédica. Grande concentração de sua aplicação está na indústria aeronáutica, onde é utilizado na fabricação de pás para turbinas, compressores e componentes da fuselagem de mísseis. Além disso, é empregado na fabricação de vasos de pressão em indústrias que requerem alta resistência à corrosão. No campo biomédico, o titânio é valorizado por sua biocompatibilidade (MACHADO; WALLBANK, 1990; DONACHIE, 1988).

Segundo Wang (2000), as ligas de titânio são amplamente usadas na indústria aeroespacial devido ao desempenho.

A Tabela 4 apresenta várias ligas de titânio juntamente com suas propriedades e aplicações típicas. Essas ligas são comumente utilizadas em estruturas de aeronaves, veículos espaciais, implantes cirúrgicos e nas indústrias química e do petróleo.

Tabela 4 – Composições, Propriedades Mecânicas e Aplicações Típicas para Várias Ligas Comuns de Titânio

Tipo da Liga	Nome Comum (Número UNS)	Composição (%p)	Condição	Propriedades Mecânicas			Aplicações Típicas
				Limite de Resistência à Tração (Mpa)	Limite de Escoamento (Mpa)	Ductilidade (% ΔL - 50mm)	
Comercialmente puro	Não Ligada (R50250)	99,5 Ti	Recozida	240	170	24	Protetores de motores a jato, carcaças e fuselagem de aviões, equipamentos resistentes à corrosão para as indústrias naval e de processamento químico.
α	Ti-5Al-2,5 Sn	92,5 Ti	Recozida	826	784	16	Carcaças e anéis de motores de turbina a gás; equipamentos para processamento químico que exigem resistência até temperaturas de 480°C.
Quase α	Ti-8Al-1Mo-1V	90,0 Ti	Recozida	950	890	15	Pecas forjadas para componentes de motores a jato (discos, placas e conectores de compressores)
$\alpha + \beta$	Ti-6Al-4V	90,0 Ti	Recozida	947	877	14	Implantes e próteses de alta resistência, equipamentos para processamento químico, componentes estruturais e
β	Ti-10V-2Fe-3Al	87,0 Ti	Solubilização + Envelhecimento	1223	1150	10	Melhor combinação de alta resistência e tenacidade entre todas as ligas de titânio comerciais, usadas para aplicações que exigem uniformidade das propriedades de tração na superfície e no centro do material; componentes de alta resistência das fuselagens de aviões.

Fonte: Adaptado de Callister Jr.; Rethwisch (2021).

3.4.1 Metalurgia do titânio e suas ligas

O titânio puro é um material alotrópico, este apresenta uma estrutura cristalina hexagonal compacta (fase α) em temperaturas baixas e uma estrutura cristalina cúbica de corpo centrado (fase β) acima de 883 °C. A incorporação de elementos de

liga em níveis específicos pode resultar na estabilização da fase β em temperatura ambiente, permitindo que ela coexista com a fase α , prevaleça sobre ela ou até mesmo se torne a única fase estável, dependendo dos teores desses elementos específicos que favorecem a formação da fase β (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2021; BARBOSA, 2014).

Dependendo da influência na temperatura de transformação alotrópica, esses elementos são classificados como neutros, estabilizadores α ou estabilizadores β . Os elementos neutros, como estanho (Sn) e zircônio (Zr), têm influência mínima na temperatura de transição. Os estabilizadores α aumentam a temperatura de transformação com o incremento da quantidade de soluto dessa fase. O alumínio (Al) é o mais importante deles, mas outros elementos, como carbono (C), nitrogênio (N) e oxigênio (O), também são largamente utilizados.

As ligas comerciais de titânio possuem uma classificação baseada na microestrutura destes materiais. É usual a classificação com base no percentual dos elementos estabilizadores, segmentando estes materiais em três categorias: α , $\alpha + \beta$ e β . Além disso, há uma subdivisão comum em ligas “quase α ” e ligas β metaestáveis (TELLES, 2018; CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2021).

3.4.1.1 Ligas Alfa (α)

Este seguimento contempla o titânio comercialmente puro (Ti-CP), essas ligas geralmente são aplicadas em projetos onde se faz necessária uma alta resistência à corrosão e não há a aplicação de grandes tensões, segundo Barbosa (2014), Handbook (1992) e Telles (2018), essas ligas não são susceptíveis a tratamentos térmicos, porém suas propriedades podem ser modificadas através por intermédio do encruamento e um recozimento subsequente, também é possível aumentar sua resistência com a adição de pequenas quantias de Fe e O.

Devido a sua estabilidade microestrutural, as ligas α são adequadas tanto para aplicações em baixas temperaturas, pois não apresentam transição dúctil-frágil quanto para altas temperaturas, pois possuem elevada resistência a fluência. No geral, as ligas α de titânio desempenham um papel crucial em diversas indústrias, onde a resistência mecânica, a resistência à fluência e a estabilidade térmica são requisitos essenciais (TELLES, 2018).

A presença de estabilizadores β em pequenas proporções permite obter uma liga com características intermediárias entre as ligas puramente α e β , resultando em uma liga “quase α ” com propriedades específicas para determinadas aplicações (TELLES, 2018).

3.4.1.2 Ligas Quase Alfa (α)

As ligas “quase α ” são aquelas que possuem uma composição próxima à das ligas α , mas com uma pequena quantidade de outra fase, como a fase β , estas ligas contêm estabilizadores - α (Al) com um pouco de adição de estabilizador- β (Mo e V). Essas ligas têm características intermediárias entre as ligas α e β , e suas propriedades podem variar dependendo da proporção de cada fase presente (COLAFEMINA, 2005).

Além disso, as ligas “quase α ” podem oferecer uma combinação equilibrada de resistência mecânica, tenacidade e resistência à fluência, tornando-as adequadas para aplicações que exigem alta resistência estrutural e capacidade de suportar cargas em temperaturas elevadas. Essas ligas têm encontrado aplicações em setores como aeroespacial, automotivo, petroquímico e de geração de energia.

As aplicações das ligas “quase α ” nos setores aeroespacial, automotivo, petroquímico e de geração de energia são exemplos comuns, onde a resistência, a confiabilidade e a capacidade de operar em condições extremas são requisitos essenciais. No entanto, é importante ressaltar que as aplicações específicas e a adoção dessas ligas podem variar de acordo com as necessidades e requisitos de cada setor ou aplicação específica.

Dentre as ligas “quase α ”, estacam-se as ligas: Ti-8Al-1Mo-1V (Ti-8-1-1) e o Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo (Ti-6-2-4-2s).

A liga Ti-8Al-1Mo-1V (Ti-8-1-1) é frequentemente utilizado na indústria aeroespacial, especialmente em componentes estruturais de aeronaves, devido à sua excelente combinação de resistência, tenacidade e resistência à fadiga. Essa liga também encontra aplicação em setores como o automotivo, na fabricação de motores e chassis de alta performance, e em aplicações marítimas, devido à sua resistência à corrosão em ambientes marinhos. A liga Ti-8Al-1Mo-1V pode ser solubilizada e

envelhecida de modo a se obter dureza máxima (ASM HANDBOOK, 1992; BARBOSA, 2014).

Já a liga Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo (Ti-6-2-4-2s) é amplamente utilizado na indústria de petróleo e gás, principalmente em componentes de sistemas de perfuração e produção offshore. Essa liga possui alta resistência à corrosão, resistência mecânica e resistência à fluência, tornando-a adequada para operar em ambientes corrosivos e sob altas temperaturas (ASM HANDBOOK, 1992; BARBOSA, 2014).

Essas aplicações ilustram a flexibilidade e a utilização abrangente das ligas Ti-8Al-1Mo-1V (Ti-8-1-1) e Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo (Ti-6-2-4-2s) em setores essenciais, onde a robustez estrutural, resistência à corrosão e habilidade de operar em ambientes desafiadores são fatores cruciais, para o bom desempenho do componente (COLAFEMINA, 2005).

3.4.1.3 Ligas Beta (β)

As ligas β são caracterizadas por possuírem uma maior quantidade de estabilizadores beta e uma menor quantidade de estabilizadores alfa em comparação com as ligas alfa-beta. Sua estrutura cristalina é cúbica de corpo centrado e sua resistência pode ser aumentada pela presença de uma pequena quantidade da fase alfa. As vantagens das ligas β incluem alta dureza, resistência à corrosão, capacidade de têmpera, facilidade de conformação a frio e boa capacidade de forjamento (EZUGWU; BONNEY; YAMANE, 2003).

A partir de uma considerável adição de estabilizadores β ao titânio são obtidas as ligas β . Quando a proporção desses elementos aumenta ao ponto em que a transformação da fase β para martensita não ocorre mais após um processo de têmpera rápida, essas ligas são denominadas β metaestáveis, devido à presença residual da fase β em sua microestrutura (TELLES, 2018).

A “ligas β ” é utilizada para se referir às ligas da fase β metaestável, uma vez que as ligas localizadas na região da fase β monofásica não são comercialmente disponíveis. Vale ressaltar que as ligas β são suscetíveis a tratamentos térmicos, contudo, são frágeis em temperaturas criogênicas e não são adequadas para altas temperaturas de operação devido à sua baixa resistência à fluência (LÜTJERING; WILLIAMS, 2007).

As ligas β de titânio são amplamente utilizadas em setores que demandam alta resistência, como aeroespacial, automotivo e indústria biomédica. Essas ligas apresentam uma estrutura cristalina cúbica de corpo centrado e uma combinação única de propriedades, como alta resistência mecânica, boa tenacidade, excelente resistência à corrosão e capacidade de tratamento térmico. Essas características tornam as ligas beta ideais para aplicações que requerem alta resistência estrutural, como componentes de aeronaves, implantes médicos e equipamentos de perfuração de petróleo e gás. Além disso, a sua facilidade de conformação a frio e boa capacidade de forjamento permitem a fabricação de peças complexas com precisão dimensional (BARBOSA, 2014; ASM HANDBOOK, 1992).

3.4.1.4 Ligas Alfa-beta ($\alpha + \beta$)

As ligas alfa + beta são compostas por ligas que contêm uma quantidade adequada de estabilizadores alfa e beta, resultando na expansão da região alfa + beta à temperatura ambiente. A fração volumétrica da fase beta depende tanto da quantidade de estabilizadores beta quanto do tratamento térmico aplicado, podem conter entre 10% e 50% de fase β . A coexistência das fases beta e alfa promove um incremento na resistência mecânica. Quando submetidas ao tratamento adequado, as ligas bifásicas $\alpha + \beta$ demonstram uma notável sinergia entre resistência mecânica e ductilidade, superando as propriedades individuais das ligas monofásicas α e β (TELLES, 2018; ASM HANDBOOK, 1972; ASM HANDBOOK, 1992; BARBOSA, 2014).

A região alfa + beta abrange uma faixa de proporção dos estabilizadores beta entre 5% e 40%. Essa combinação de fases permite a sinergia das características favoráveis de ambas, proporcionando aprimoramento das propriedades mecânicas por meio de tratamentos térmicos e processamento termomecânico. Devido à sua ampla disponibilidade, excelente trabalhabilidade e desempenho mecânico superior em baixas temperaturas, as ligas alfa + beta são amplamente empregadas nas aplicações de ligas de titânio (TELLES, 2018; ASM HANDBOOK, 1972).

As ligas alfa + beta são frequentemente empregadas em projetos de natureza estrutural, especialmente nas indústrias aeroespacial (em estruturas aeronáuticas e turbinas) e biomédica. Entre essas ligas, destaca-se o Ti-6Al-4V como a liga de escolha (ASM HANDBOOK, 1972).

As ligas alfa + beta, devido à sua composição e características únicas, têm sido amplamente utilizadas em uma variedade de setores industriais devido às suas propriedades superiores. Além de oferecer uma combinação equilibrada de resistência mecânica, tenacidade e resistência à corrosão, essas ligas também apresentam excelentes propriedades tecnológicas (ASM HANDBOOK, 1972; ASM HANDBOOK, 1992).

Em aplicações aeroespaciais, as ligas alfa + beta são amplamente empregadas em componentes estruturais de aeronaves, como fuselagens, asas e componentes internos. Sua alta resistência e leveza são características desejáveis nesse setor, contribuindo para a redução de peso das aeronaves e, conseqüentemente, melhorando a eficiência de combustível e o desempenho (ASM HANDBOOK, 1972; ASM HANDBOOK, 1992).

Na indústria biomédica, as ligas alfa + beta, especialmente o Ti-6Al-4V, têm sido amplamente utilizadas em implantes ortopédicos e odontológicos devido à sua excelente biocompatibilidade, resistência à corrosão e alta resistência mecânica. Essas ligas oferecem a capacidade de suportar as cargas e estresses mecânicos exigidos nos implantes, enquanto proporcionam uma taxa de sucesso clínico satisfatória (ASM HANDBOOK, 1992; BARBOSA, 2014).

Além desses setores, as ligas alfa + beta encontram aplicações em áreas como a indústria automotiva, petroquímica e de geração de energia, onde a resistência estrutural, a resistência à corrosão e a capacidade de operar em condições exigentes são fundamentais (ASM HANDBOOK, 1992; BARBOSA, 2014).

Em suma, as ligas alfa + beta têm se destacado como materiais de escolha em várias indústrias devido às suas propriedades mecânicas superiores, excelente trabalhabilidade, resistência à corrosão e ampla disponibilidade. Seu uso diversificado reflete sua capacidade de atender às demandas de aplicações que exigem alta performance e confiabilidade em condições desafiadoras.

3.4.2 Liga Ti-6Al-4V

Atualmente existem mais de 100 ligas de titânio conhecidas, porém apenas cerca de 20 a 30 delas alcançaram um estado comercialmente viável. Entre essas ligas, destaca-se a Ti-6Al-4V, que representa mais de 50% do consumo mundial de ligas de titânio, seguida por aproximadamente 20 a 30% de titânio puro. A

nomenclatura das ligas frequentemente inclui informações sobre sua composição química (DONACHIE, 1988; MOURA, 2017).

A liga Ti-6Al-4V é uma liga bifásica ($\alpha + \beta$) que é amplamente utilizada em aplicações aeronáuticas e navais e apresenta melhor soldabilidade (BARBOSA, 2014).

A combinação das fases α e β na estrutura da liga Ti-6Al-4V confere a ela propriedades mecânicas superiores, tornando-a altamente indicada para aplicações que requerem a associação de resistência mecânica e capacidade de suportar condições exigentes. Além disso, a liga demonstra uma excelente relação entre resistência e peso, o que a torna uma escolha atraente para muitas indústrias (ASM HANDBOOK, 1992; DONACHIE, 1988).

Uma característica relevante da liga Ti-6Al-4V é a sua excelente resistência à corrosão, especialmente em ambientes agressivos, como os marítimos e os químicos. Essa resistência é atribuída à formação de uma camada protetora de óxido de titânio na superfície da liga, que atua como uma barreira eficaz contra processos corrosivos. Além disso, a liga Ti-6Al-4V possui uma boa estabilidade dimensional e é capaz de suportar uma ampla faixa de temperaturas, desde criogênicas até elevadas, sem sofrer deformações significativas. Essas características tornam a liga adequada para aplicações que exigem uma combinação de resistência mecânica, resistência à corrosão e estabilidade térmica, como componentes estruturais de aeronaves, implantes médicos e equipamentos industriais (BARBOSA, 2014; ASM HANDBOOK, 2005).

4 ESTADO DA ARTE

O desgaste severo das ferramentas, o mal acabamento das superfícies usinadas são características desfavoráveis associadas a usinagem das ligas de titânio, reações químicas associadas às altas temperaturas verificadas na interface de corte, por conta da baixa condutividade térmica desse material, contribuem significativamente para a redução da qualidade da superfície usinada e do tempo de vida útil das ferramentas pois, mecanismos de oxidação e desgastes químicos, promovem difusão de materiais e adesão nas ferramentas de corte, causando interferências prejudiciais ao processo. (NIKNAM *et al.*, 2018).

Segundo Pimenov *et al.* (2021), para a minimização do impacto ambiental, fabricação limpa e sustentabilidade são imprescindíveis. Nesse aspecto, a usinagem a seco apresenta grande utilidade pois, atualmente, o sucesso de uma operação além de levar em conta a qualidade dos produtos e vida útil das ferramentas avalia, com relevância, a sustentabilidade da operação.

A grande maioria das pesquisas realizadas nesse contexto têm foco na retirada do calor gerado no atrito ferramenta – peça, a partir do aprimoramento dos sistemas de lubre-refrigeração com forte apelo para as questões econômicas e de sustentabilidade. Gases como argônio (Ar), dióxido de Carbono (CO₂) e Nitrogênio (N₂) tem sido utilizado na lubre-refrigeração criogênica, cuja principal finalidade é a retirada de calor da interface de corte (SHOKRANI *et al.*, 2019; ARUNPRASATH *et al.*, 2022). O LCO₂, por não requerer métodos onerosos de descarte, tornou-se uma forte tendência para a lubre-refrigeração criogênica (ROSS, NIMEL; GANESH, M., 2019).

No torneamento das ligas de titânio com lubre-refrigeração convencional, a pressão do jato de fluido de corte é, em média, 0,1Mpa. Nessas condições se elevarmos a velocidade de corte de 30m/min para 100m/min a temperatura média de corte aumenta, de 630°C para 900°C, ocasionando diminuição drástica da vida útil da ferramenta. Na usinagem assistida por jato de alta pressão, 10Mpa, a temperatura média de corte é reduzida em até 22% e a vida útil da ferramenta é melhorada em até 89% (JIUHUA *et al.*, 2018).

Em análise comparativa dos custos de usinagem da liga Ti-6Al-4V, a seco e com MQL, Swain *et al.* (2022), afirmam que o investimento total para o torneamento em uma extensão com diâmetro de 50mm por 150mm de comprimento, a seco, é de

US\$ 0,5652; e US\$ 0,4945 para MQL, ou seja, o torneamento assistido por MQL apresentou um custo 12,38% menor que o seco, dentre outros aspectos relevantes para esse resultado destacam-se a redução do desgaste de flanco das ferramentas, a aplicação de uma quantidade mínima de fluido de corte e por conseguinte a redução dos custos de descarte.

Muhammad et al. (2019), analisando a vida útil das ferramentas na usinagem da liga Ti-6Al-4V, com lubre-refrigeração MQL e com resfriamento criogênico LCO₂, verificou que o desgaste de flanco médio estabelecido para o experimento, 300µm, foi atingido mais rapidamente com LCO₂ (236s). Com MQL, o tempo de vida útil da ferramenta (292s) teve um aumento de 23,7%.

Em experimentos realizados em torneamento convencional e ultrassônico assistido (UAT) sob condições a seco, MQL e LCO₂, houve constatação de que o LCO₂ combinado com a vibração ultrassônica aumentam significativamente a vida útil da ferramenta sem comprometer a rugosidade da superfície (AIRÃO et al., 2022).

Insertos revestidos produziram rugosidade superficial inferior de 0,8 µm em usinagem sob refrigeração criogênica com LN₂ (LAKSHMANAN et al., 2022).

Zaman e Dhar. (2020), a partir da seleção apropriada de parâmetros como diâmetro do bocal, ângulo de impacto, taxa de fluxo de óleo, pressão do ar etc., desenvolveram um sistema MQL altamente eficiente para a melhoria da usinabilidade de ligas Ti-6Al-4V reduzindo os impactos ambientais causados pelo uso dos fluídos de corte.

Segundo Kutelu et al. (2018), no processo de soldagem GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), o arco voltaico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio e o metal de base, acontece em atmosfera inertizada a partir da injeção de um gás. A inertização da região de solda visa proteger, da oxidação, tanto o metal de solda quanto o eletrodo de tungstênio pois, em uma atmosfera ativa a vida útil do eletrodo seria abreviada pela oxidação do tungstênio; e no metal de solda haveria formação de óxido além da contaminação pela presença dos óxidos de tungstênio resultantes da oxidação do eletrodo. Assim, a diminuição das reações de oxidação na região de solda, resultam no aumento da produtividade do processo, uma vez que melhora a qualidade do metal de solda ao mesmo tempo que diminui o desgaste dos eletrodos.

A aplicação de usinagem em atmosfera inerte experimentada em nossa pesquisa, apesar de uma significativa diferença entre os processos de usinagem e soldagem GTAW, foi motivada pela observação dos benefícios resultantes da

significativa diminuição das reações de oxidação na região de solda. Os resultados obtidos com relação a preservação das ferramentas foram positivos, houve um aumento da vida útil das ferramentas utilizadas em meio inerte em comparação com as utilizadas na usinagem a seco ou com fluido de corte. Quanto a qualidade da superfície usinada, os testes estatísticos aplicados aos dados de rugosidade (R_a) medidos nas superfícies usinadas em cada meio de lubri-refrigeração, detectaram não haver diferença entre as médias populacionais. Isto significa que para a usinagem da liga Ti-6Al-4V, nas condições do nosso experimento, a qualidade da superfície independe se a usinagem é realizada a seco, com argônio ou com fluido de corte.

5 METODOLOGIA

Este capítulo tem o objetivo de descrever todos os materiais e procedimentos utilizados durante a pesquisa.

5.1 MATERIAIS

O material utilizado para a pesquisa é uma liga de titânio Ti-6Al-4V, ASTM B348 GR5, com a presença das fases α e β , recozida e na forma de barra redonda com diâmetro $\varnothing = 50,0\text{mm}$ e comprimento $L = 250,0\text{mm}$. A partir de informações disponibilizadas pelo fornecedor (ANEXO – I), a Tabela 5 apresenta a composição química e a Tabela 6 apresenta as propriedades mecânicas da amostra utilizada no experimento.

Tabela 5 – Composição química (Ti-6Al-4V)

ELEMENTOS	Ti	Al	V	Fe	C	H	N	O	Out.
MASSA (%)	88,68	6,36	4,16	0,23	0,01	0,0012	0,01	0,15	0,04

Fonte: O Autor (2023).

Tabela 6 – Propriedades mecânicas (Ti-6Al-4V)

Tensão limite de resistência mecânica (Mpa)	Tensão de escoamento (Mpa)	Redução de área (%)	Alongamento (%)
970.000	903.000	42,00	17,00

Fonte: O Autor (2023).

A motivação para a escolha desse material, para o nosso estudo, foi o fato de se tratar de uma das ligas mais utilizadas nas indústrias aeroespacial e biomédica, setores que têm em comum altas exigências de qualidade tanto dimensional quanto de acabamento superficial. Suas propriedades, como alta relação resistência/peso, alta resistência à corrosão, capacidade de suportar altas temperaturas etc. são favoráveis para lhe conferir o status de material de primeira escolha para trabalhos em condições adversas (LIANG; LIU; WANG, 2020). Por outro lado, a sua alta resistência e dureza em temperaturas elevadas junto com a sua baixa condutividade térmica resultam no aumento da temperatura durante a usinagem e por conseguinte, promovem grande desgaste às ferramentas, afetando diretamente níveis de qualidade dimensional e de acabamento superficial das peças trabalhadas. Esse material é

considerado de baixa usinabilidade e este fato foi uma motivação na procura de meios para otimizar as condições de usinagem de um material tão importante para a engenharia moderna (LIANG; LIU; WANG, 2020).

5.2 USINAGEM

5.2.1 Centro de torneamento – CNC

O centro de torneamento utilizado para a usinagem do material foi o DEB'MAQ DMC DL 6T CNC Turning Center Figura 5. Para a aplicação do Argônio_(g) (ANEXO – II), como fluido de corte, foi necessário realizar adaptações de modo a possibilitar que a injeção de gás atingisse a interface material e ferramenta de corte. Figura 6 , (a) e (b), mostra os detalhes da adaptação feita para a injeção do gás argônio.

Figura 5 – Torno DEB'MAQ DMC DL 6T

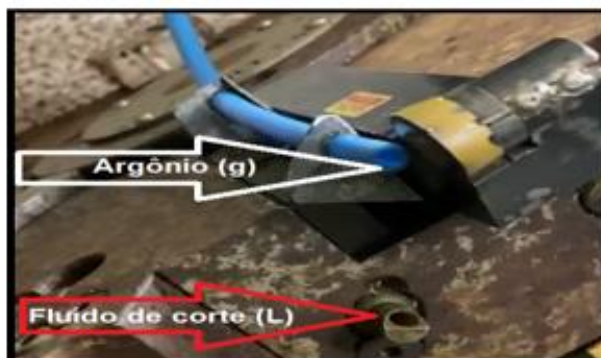


Fonte: O Autor (2023).

Figura 6 – Adaptação para injeção do argônio: (a) Cilindro de gás; (b) Injeção na interface



(a)



(b)

Fonte: O Autor (2023).

5.2.2 Ferramenta de corte e suporte

O inserto revertido (CVD) e seu suporte (ANEXOS – III e IV) são do fabricante Sandvik e têm respectivamente as referências RCMT 16 06 MP-L3 S205, conforme Figura 7 e PRGCR 2525M 16, apresentada na Figura 8 A seleção da ferramenta e do seu suporte foi feita com o uso do aplicativo do fabricante e levou em consideração o material a usinar e a operação de acabamento (<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt>).

Figura 7 – Ferramenta RCMT 16 06 MP-L3 S205 com especificações técnicas



Fonte: adaptada pelo autor de Sandvik (2023).

Figura 8 – Porta ferramentas PRGCR 2525M 16

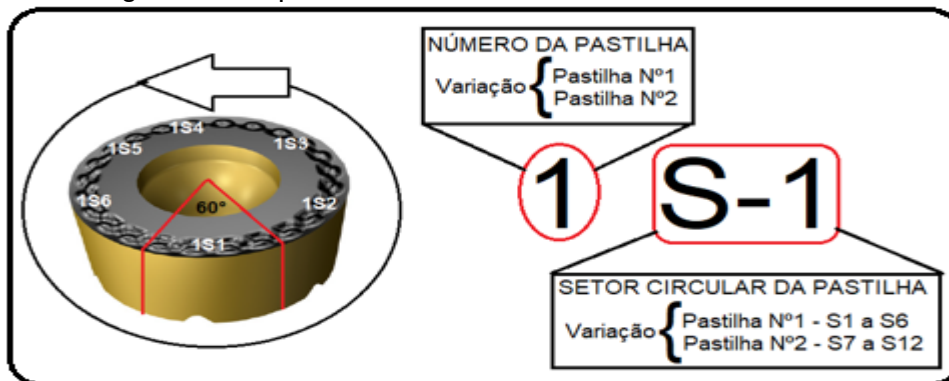


Fonte: adaptada pelo autor de Sandvik (2023).

A necessidade de medição do desgaste de flanco levou a criação de um sistema para referenciar os setores da ferramenta atuante por passe. O sistema de referenciamento é baseado na divisão original do fabricante que divide cada ferramenta em seis setores de corte distintos e dispostos, ao longo do comprimento da circunferência de corte, defasados 60° um do outro. Assim, tem-se para a pastilha Nº1 os setores: 1S1, 1S2, 1S3, 1S4, 1S5 e 1S6. Para a pastilha Nº2 os setores: 2S7,

2S8, 2S9, 2S10, 2S11 e 2S12 e assim sucessivamente para tantas quantas fossem as ferramentas utilizadas. Esse mapeamento é representado na Figura 9.

Figura 9 – Mapeamento dos setores de corte da ferramenta

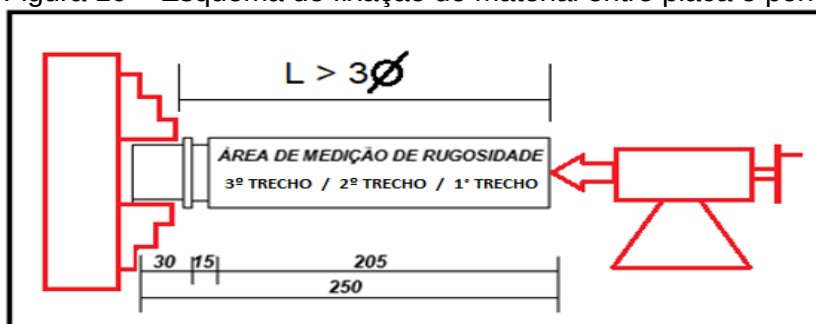


Fonte: adaptada pelo autor de Sandvik (2023).

5.2.3 Torneamento

A fixação do material ao torno, foi realizada entre placa e ponta, pois a relação diâmetro($\varnothing$) / comprimento em balanço(L) excedia o limite de $L \leq 3\varnothing$. A Figura 10 apresenta, esquematicamente, a fixação do material entre placa e ponta, destacando os três trechos de medição das rugosidades, bem como, as dimensões do corpo de prova. O comprimento de corte foi de 205,00mm, divididos em três trechos de medição. Após cada passe, foram realizadas medições do parâmetro de rugosidade R_a , na superfície da peça. O desgaste de flanco, VB , foi avaliado para cada setor. Os parâmetros de usinagem selecionados a partir de testes e análises são apresentados na Tabela 7.

Figura 10 – Esquema de fixação do material entre placa e ponta



Fonte: O Autor (2023).

Tabela 7 – Condições e parâmetros de usinagem

LUBRI - REFRIGERAÇÃO	VAZÃO – Q. (L/min)	AVANÇO – fn. (mm/volta)	P.CORTE - ap. (mm)	V.CORTE – Vc. (m/min)
		0,19		
Á SECO	N/A	0,46		
		0,76		
F. CORTE ^(L) . INUNDAÇÃO. BIO 100 E (BQL) (ANEXO - V)	25	0,19 0,46 0,76	0,5	100
F. CORTE ^(G) . ARGÔNIO	10	0,19 0,46 0,76		
N/A – Não aplicável / Dados do fabricante: Vc (65 – 105); ap (0,4 – 3,2); f(0,19 – 0,76)				

Fonte: O Autor (2023).

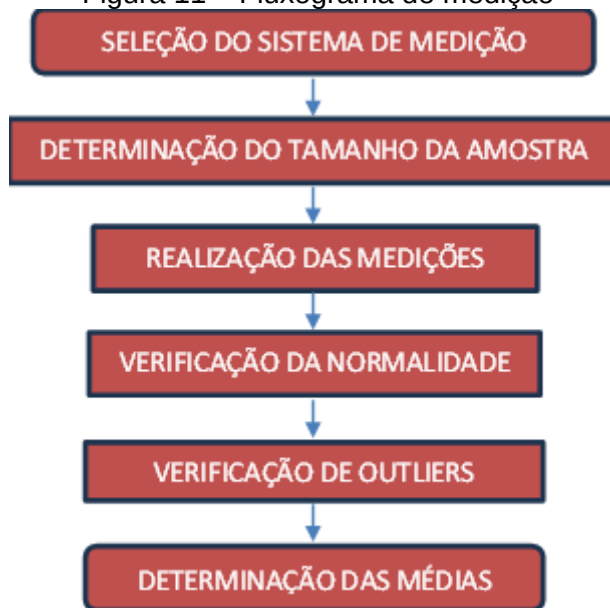
Para a seleção dos parâmetros de usinagem (

) foram considerados os seguintes aspectos: a velocidade de corte $V_C = 100$ m/min, (especificações do fabricante da ferramenta 65 à 105m/min), optou-se pelo limite superior por se tratar de uma operação de acabamento; Profundidade de corte $ap = 0,5$ mm, (especificações do fabricante da ferramenta 0,4 à 3,2mm), optou-se pelo limite inferior por se tratar de uma operação de acabamento; Para os avanços escolhidos: $f = 0,19$ mm/volta; $f = 0,46$ mm/volta e $f = 0,76$ mm/volta, (especificações do fabricante da ferramenta 0,19 à 0,76mm/volta), optou-se pelo limite inferior, pelo limite superior e pelo valor médio de f , com o objetivo de ampliar o leque de investigação.

5.3 PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO

A fim de se garantir uma medição com confiabilidade metrológica foi desenvolvido, no âmbito deste trabalho, o passo a passo para a realização das medições. As medições dos desgastes de flanco foram realizadas no Laboratório de Metrologia do IFPE – Campus Recife, o qual se encontra em conformidade com a NBR ISO/IEC 17025 (2017), fornecendo, portanto, uma base para medições confiáveis e consequentemente, conclusões confiáveis acerca dos valores obtidos. As medições de rugosidade foram realizadas diretamente com o corpo de prova fixado ao centro de torneamento seguindo-se as recomendações de temperatura e umidade relativa do ar. A Figura 11 apresenta a sequência de aquisição e tratamento de dados (ABNT, 2017).

Figura 11 – Fluxograma de medição

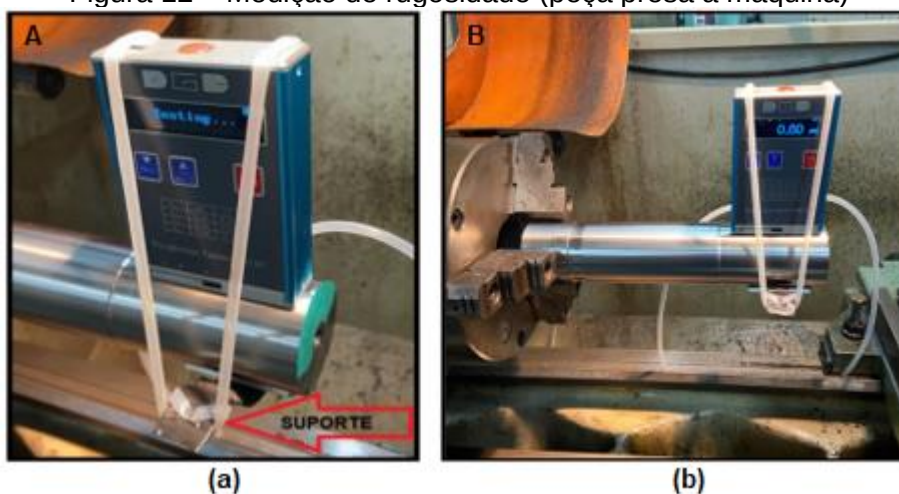


Fonte: O Autor (2023).

5.3.1 Medição de rugosidade

Para as medições de rugosidade, foi utilizado um rugosímetro DR-130, *Roughness tester*, para o qual foi desenvolvido um suporte que possibilita a medição da rugosidade com a peça ainda fixada ao centro de torneamento. O dispositivo teve o objetivo de evitar a descentralização da peça, em sua reposição ao torno, caso fosse retirada para medição. A Figura 12 (a) e (b), apresenta o rugosímetro DR-130 com o suporte de medição efetuando a medição de rugosidade com a peça presa à máquina.

Figura 12 – Medição de rugosidade (peça presa à máquina)



Fonte: O Autor (2023).

Foi utilizado o software SAMPLE SIZE CALC para a determinação do tamanho da amostra cujo resultado apontou para um tamanho mínimo de três pontos. Após cada passada da ferramenta na superfície do corpo de prova, eram efetuadas 40 medições de rugosidade de superfície parâmetro (Ra) assim distribuídas:

- 1º TRECHO (ponta) – Três pontos aleatórios defasados de 120°;
- 2º TRECHO (centro) – Quatro pontos aleatórios defasados de 90°;
- 3º TRECHO (placa) – Três pontos aleatórios defasados de 120°.

A Figura 13 apresenta a tela do software SAMPLE SIZE CALC exibindo o resultado do cálculo do tamanho mínimo da amostra. O valor do erro de estimativa de 0,04mm foi estipulado tomando-se que o valor de desgaste máximo indicado na Tabela 1 ,Desgaste de flanco VB em função do tipo de ferramenta e do tipo de operação (FERRARESI,1989), foi de 0,25mm. A norma NBR 3685 (2017) indica que o desgaste de flanco pode chegar até 0,30mm. Daí uma possibilidade de variação de até 0,05mm; optou-se por 0,04mm.

Figura 13 – Tela do *software SAMPLE SIZE CALC*

Fonte: *software SAMPLE SIZE CALC*.

A Figura 14 apresenta as regiões de medição distribuídas em toda a superfície do corpo de provas.

Figura 14 – Distribuição dos pontos de medição de rugosidade no corpo de provas (CP)



Fonte: O Autor (2023).

Para a coleta dos dados experimentais foi elaborado um formulário, o qual traz todas as informações operacionais, relevantes, para garantir a qualidade e confiabilidade dos dados obtidos no experimento tais como: velocidade de corte, avanço da ferramenta, profundidade de corte, tipo de lubri-refrigeração, vazão da lubri-refrigeração, número do inserto, identificação do setor da ferramenta de corte que efetuou o desbaste, temperatura ambiente, temperatura do instrumento de medição e temperatura da peça usinada no momento da medição da rugosidade. A Figura 15 apresenta um formulário de coleta de dados devidamente preenchido.

Figura 15 – Formulário de coleta de dados experimentais

Cálculo da incerteza combinada(9) sem levar em conta a inc. da repetibilidade(8)																			
PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DAS INCERTEZAS DE MEDIÇÃO: R_a ; R_z ; R_q e R_t em μm																			
CP. Nº	5				DADOS														
					R_a	R_z	R_q	R_t											
					INCERTEZA HERDADA	0,000	0,000	0,000	0,000										
					VALOR DE "K"	2,000	2,000	2,000	2,000										
					RESOLUÇÃO	0,01													
					Coef.dl. PEÇA	0,000009													
					Coef.dl. INSTRUMENTO	0													
DADOS OPERACIONAIS																			
MATERIAL:	Ti-6AL-4v				R/Mpa:	550				FERRAMENTA:	RCMT 16 06 MP-L3 S205				P1	NF:	5		
VC (m/min):	100,0				a (mm/vol):	0,46				P.C.(mm):	0,5				LUBRE REFRIG.:	S	Q (L/min)	N/A	
CÁLCULO DAS INCERTEZAS DE MEDIÇÃO: R_a ; R_z ; R_q e R_t em μm																			
1º PASSE		0,46		S															
					1º SETOR (ponta)					2º SETOR (centro)					3º SETOR (placa)				
TEMP. °C	T1	T2	T3	MÉDIA	Med:	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª				
AMBIENTE	19,8	20,0	21,0	20,3	R_a	0,31	0,30	0,30	0,26	0,25	0,26	0,26	0,29	0,29	0,29				
INSTRUMENTO	20,2	20,9	21,0	20,7	R_z	2,17	2,05	1,96	1,62	1,70	1,73	1,78	2,38	2,26	2,43				
PEÇA	20,0	21,0	21,0	20,7	R_q	0,40	0,41	0,38	0,32	0,32	0,33	0,33	0,38	0,38	0,38				
					R_t	2,24	2,17	2,05	1,79	1,88	1,89	1,98	2,54	2,50	2,58				
Legendas: LUBR-REFRIGERAÇÃO - S(à seco); Ar(Argônio); Fc(Fluido corte); FERRAMENTAS: Pastilha Nº1-P1, NF: 1, 2, 3, 4, 5 e 6; Pastilha Nº2-P2, NF: 7, 8, 9, 10, 11 e 12; ..																			

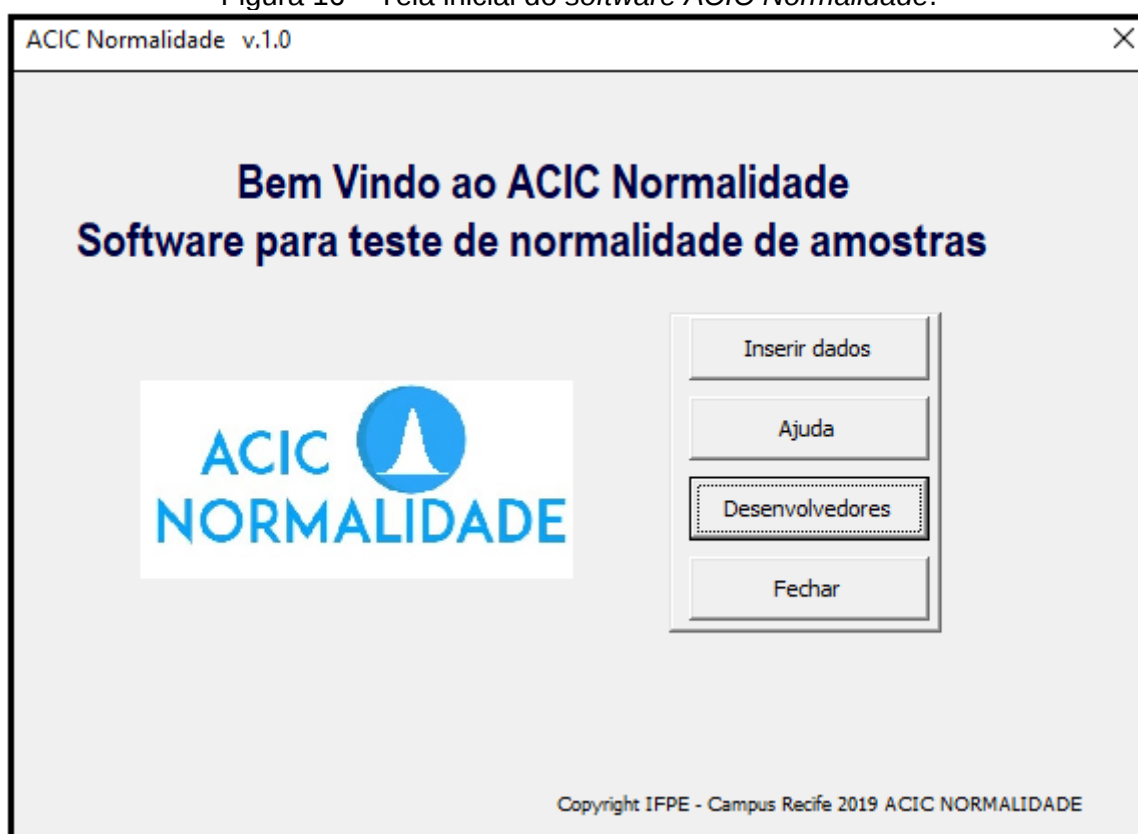
Fonte: O Autor (2023).

Todos os pontos medidos no tocante ao desgaste de flanco e ao acabamento superficial, encontravam-se a uma temperatura ambiente de $(20 \pm 1)^\circ C$ e umidade relativa do ar de $(50 \pm 10)\%$ (BRUNELLI, 2017) (NASA, 2010).

5.3.2 Teste de normalidade das amostras

Para o tratamento estatístico dos dados, inicialmente, foi realizado o teste de normalidade para cada amostra, tanto referente ao desgaste de flanco quanto ao parâmetro de rugosidade R_a . Os seguintes testes de normalidade foram aplicados (SHAPIRO *et al.*, 1965; SHESKIN, 2003; KAPUR, 2014; KECECIOGLU, 1993; KECECIOGLU, 2002): *Shapiro-Wilk*, *Kolmogorov Smirnov* e *Cramer von Mises*. Caso fosse verificada normalidade em pelo menos um dos testes para um nível de confiança de 95%, a amostra era considerada oriunda de uma população com distribuição normal. A Figura 16 apresenta a tela inicial do software ACIC NORMALIDADE.

Figura 16 – Tela inicial do software ACIC Normalidade.



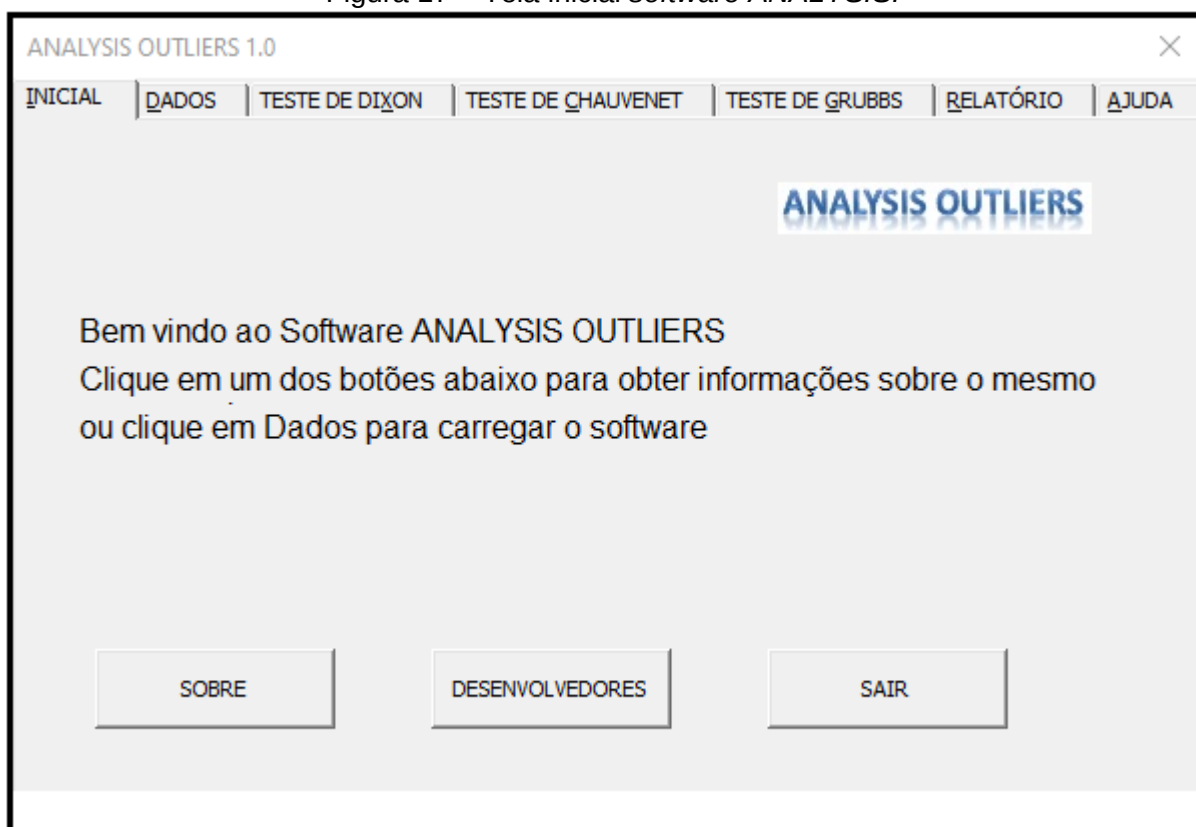
Fonte: O Autor (2023).

5.3.3 Teste de outliers

Na sequência, cada amostra foi analisada com relação a possíveis *outliers*. Para tal, foram aplicados os seguintes testes (RORABACHER, 1991; GRUBBS, 1969; LINK, 2000): Dixon (teste Q), Grubbs e Chauvenet. Finalmente, foi calculado o

tamanho mínimo de cada amostra considerando-se a distribuição t-Student (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2007; THOMPSON, 2001). A Figura 17 apresenta a tela inicial do software ANALYSIS. A Figura 18 apresenta um fragmento de relatório de análise emitido pelo software ANALYSIS OUTLEARS.

Figura 17 – Tela inicial *software ANALYSIS*.



Fonte: O Autor (2023).

Figura 18 – Relatório de análise gerado pelo software ANALYSIS OUTLIERS

RELATÓRIO DE MEDIÇÃO DE NÚMERO		1
EMPRESA:	UFPE	
TIPO DE MEDIÇÃO:	Rugosidade	
DATA:	06/12/2023	
UNIDADE DE MEDIDA:	micrometro	
TESTE DE DIXON		
MÉDIA:	0,3177777778	
DESVIO PADRÃO:	0,0286259401	
AMOSTRA INICIAL:	10	
AMOSTRA FINAL:	9	

Fonte: O Autor (2023).

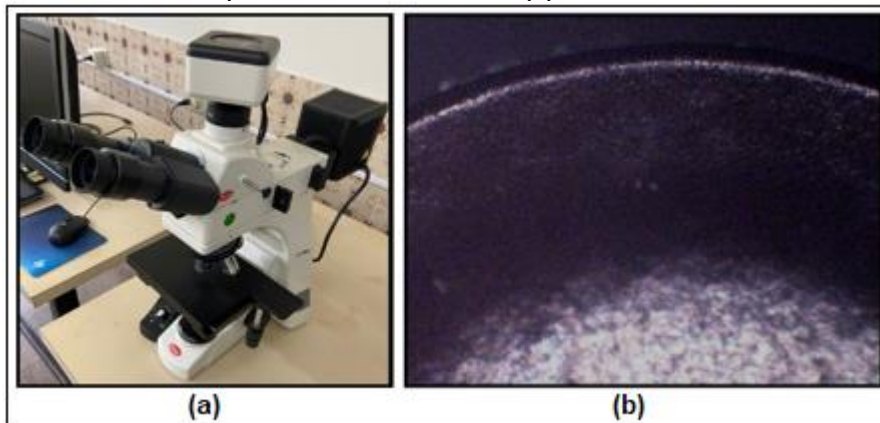
5.3.4 Medição dos desgastes de flanco, VB, das ferramentas de corte

Em função das características da ferramenta de corte por se tratar de uma operação de acabamento, foi considerado como critério de fim de vida da ferramenta, o desgaste de flanco de 0,25 mm. Desta forma, ao se obter o desgaste de 0,25 mm (valor máximo da tabela), o tempo de corte é considerado o tempo de vida da ferramenta.

5.3.4.1 Microscópio metalográfico

Para as medições dos desgastes de flanco das ferramentas de corte foi utilizado um microscópio metalográfico MOTIC BA310Met, equipado com uma câmera MOTICAM 1080. Para tal foi utilizada uma ampliação de 50x. A Figura 19 (a) e (b), apresentam o sistema de medição do desgaste de flanco VB.

Figura 19 – Microscópio MOTIC BA310Met (a); Borda da ferramenta x 50 (b)



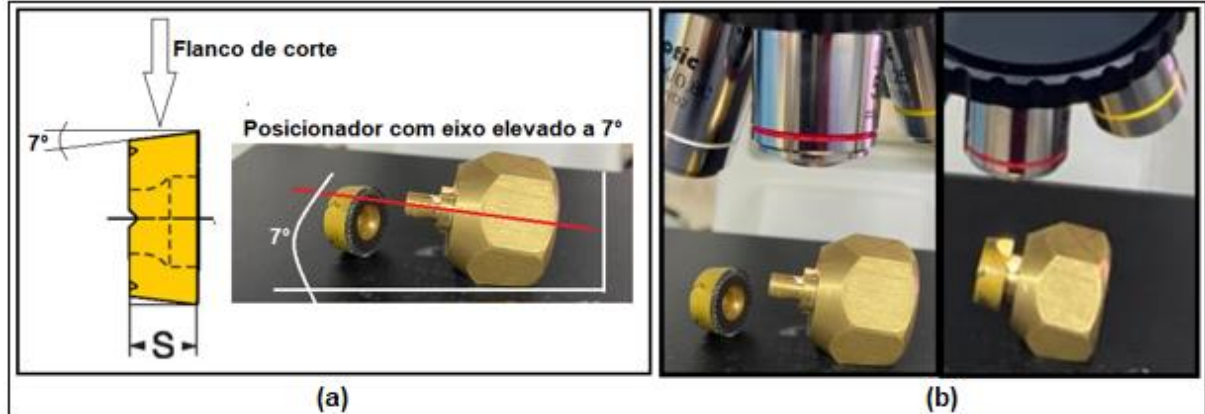
Fonte: O Autor (2023).

5.3.4.2 Suporte posicionador para medição dos desgastes de flanco das ferramentas de corte

Para o posicionamento das ferramentas de corte e medições dos desgastes de flanco, foi confeccionado um suporte de posicionamento, composto por eixo inclinado de 7° em relação à mesa de medição. A inclinação serve para compensar o ângulo de folga da ferramenta de corte, que é $\alpha = 7^\circ$, deixando o plano do flanco de corte na posição horizontal e evitando distorções nas imagens que ocasionariam

alterações nos resultados das medições. A Figura 20 (a) e (b), mostra o suporte posicionador e a montagem, suporte-ferramenta, para execução de uma medição.

Figura 20 – Suporte posicionador medição do desgaste de flanco VB (a); Medição de VB (b)

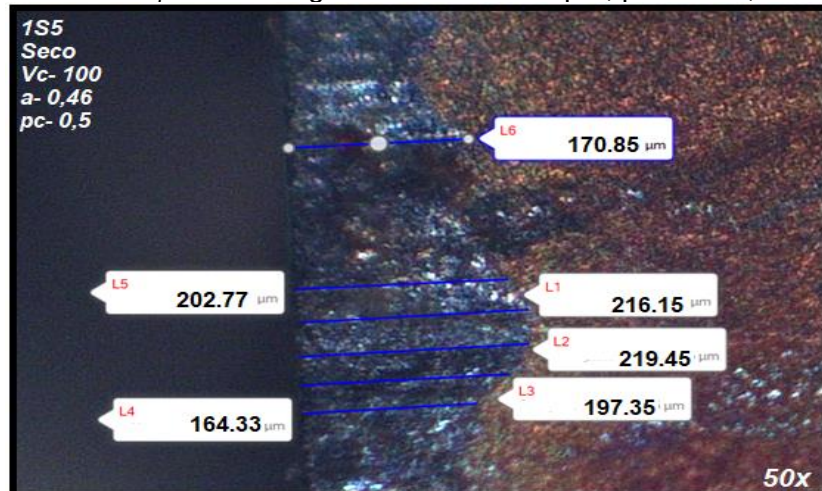


Fonte: O Autor (2023).

5.3.4.3 Indicações dos desgastes de flanco (VB)

Após cada passe, a ferramenta de corte foi levada ao microscópio para medição. As medições foram realizadas em pontos distintos, entre a maior e a menor extensão do desgaste. A Figura 21 mostra a imagem de uma medição de desgaste de flanco com sua identificação de localização - 1S5: pastilha nº1, setor de corte nº 5, após execução de um corte a seco com velocidade de corte V_c - 100m/min, avanço a - 0,46mm/volta e profundidade de corte p_c - 0,5mm.

Figura 21 – Indicações do desgaste de flanco em μm , pastilha 1, setor 5 (1S5)



Fonte: O Autor (2023).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo de usinabilidade realizado na liga Ti-6Al-4V usou como velocidade de corte $V_c = 100$ m/min (especificações do fabricante da ferramenta 65 à 105m/min), a profundidade de corte $ap = 0,5$ mm (especificações do fabricante da ferramenta 0,4 à 3,2mm) e três avanços $f = 0,19$ mm/volta; $f = 0,46$ mm/volta e $f = 0,76$ mm/volta (especificações do fabricante da ferramenta 0,19 à 0,76mm/volta) . Além disso, foram utilizados, na usinagem, três meios distintos no tocante a lubri-refrigeração: a seco, com argônio como atmosfera protetora e com fluido de corte. Dentro deste contexto, com o intuito de se estratificar a análise dos resultados, este capítulo se encontra dividido nos seguintes subtópicos:

- Estudo da influência do tempo de corte no desgaste de flanco;
- Estudo comparativo entre os dados amostrais;
- Inferência estatística para tomada de decisão a respeito do meio mais adequado e
- Estudo comparativo entre o desgaste de flanco e o acabamento superficial.

6.1 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CORTE NO DESGASTE DE FLANCO

6.1.1 Corte a seco

Para o corte a seco, a Tabela 8 apresenta os valores medidos de desgaste de flanco para cada um dos 5 passes, bem como o tempo de corte para a usinagem com uma mesma aresta de corte, para $V_c = 100$ m/min, $ap = 0,5$ mm e $f = 0,46$ mm/volta.

Tabela 8 – Valores amostrais do desgaste de flanco - multipasses - a seco - 0,46 mm/volta

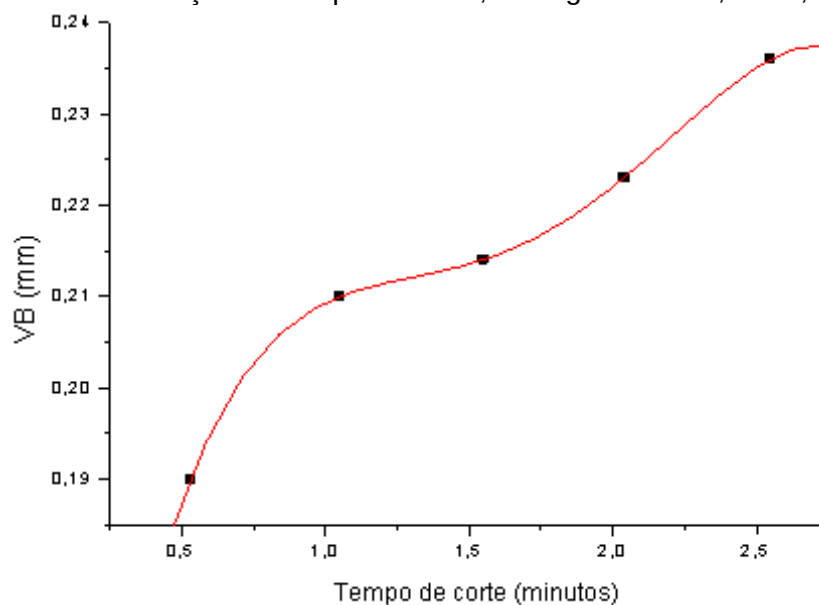
Passe	Valores de VB (mm)					Média VB (mm)	Tempo de corte (min)
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅		
1	0,16	0,17	0,20	0,20	0,22	0,190	0,53
2	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,210	1,05
3	0,19	0,21	0,21	0,22	0,23	0,214	1,55
4	0,19	0,21	0,22	0,23	0,25	0,223	2,04
5	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25	0,236	2,55

Fonte: O Autor (2023).

Não foram encontrados *outliers* em nenhuma das amostras acima apresentadas.

O Gráfico 1 apresenta a variação do desgaste de flanco em função do tempo de corte. Analisando-se os dados de regressão, constata-se que a regressão polinomial de grau 4 apresentou o maior coeficiente de determinação $R^2 = 1$. Assim, a Equação (3) apresenta a variação do desgaste de flanco em função do tempo de corte. A Figura 22 (a) 1ºpasse (b) 3ºpasse e (c) 5ºpasse, apresenta imagens da evolução do desgaste de flanco para esta sequência de passes.

Gráfico 1 – VB em função do tempo de corte, usinagem a seco, a = 0,46mm/volta



Fonte: O Autor (2023).*(software Origin).

A equação (3) expressa a relação entre o desgaste de flanco e o tempo de corte para usinagem a seco.

$$VB = 0,10474 + 0,26615.t_c - 0,24804.t_c^2 + 0,1008.t_c^3 - 0,01433.t_c^4 \quad (3)$$

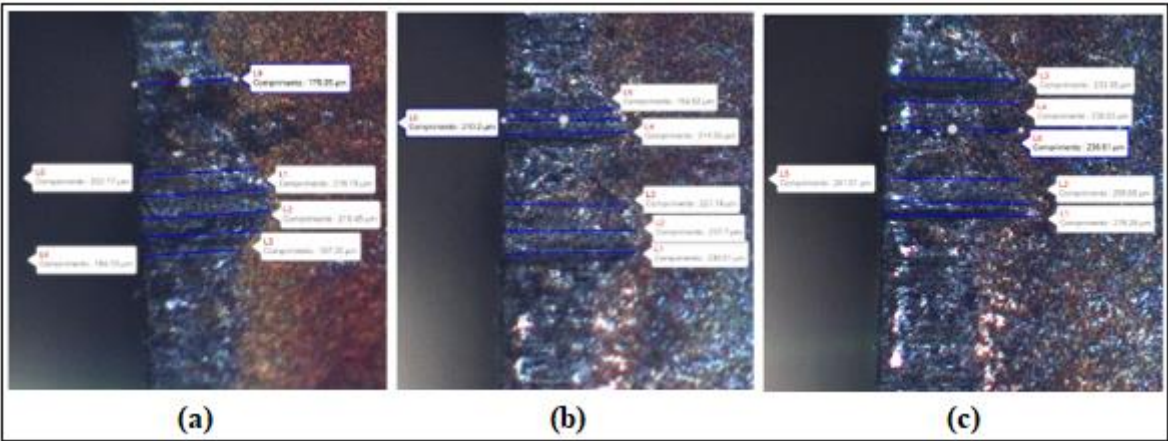
Para validação da equação (3) foram executados 3 passes, com os mesmos parâmetros de usinagem utilizados para a obtenção dos dados apresentados na Tabela 8. A Tabela 9 apresenta os dados obtidos e aplicados para validação da equação (3), que apresentou, para VB, uma diferença de 24% entre os valores medidos e calculados.

Tabela 9 - Validação da equação de VB para corte a seco – 0,46mm/volta.

Valores amostrais desgaste de flanco -VB - a seco - 0,46 mm/volta										
VB = 0,10474 + 0,26615.tc – 0,24804.tc2 + 0,1008.tc3 -0,01433.tc4										
Nº Passes	Tc	MEDIÇÃO DE VB (mm)							VB-calc	Diferença %
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	MÉDIA		
3	0,97	0,188	0,170	0,157	0,159	0,171	0,166	0,169	0,209	24%

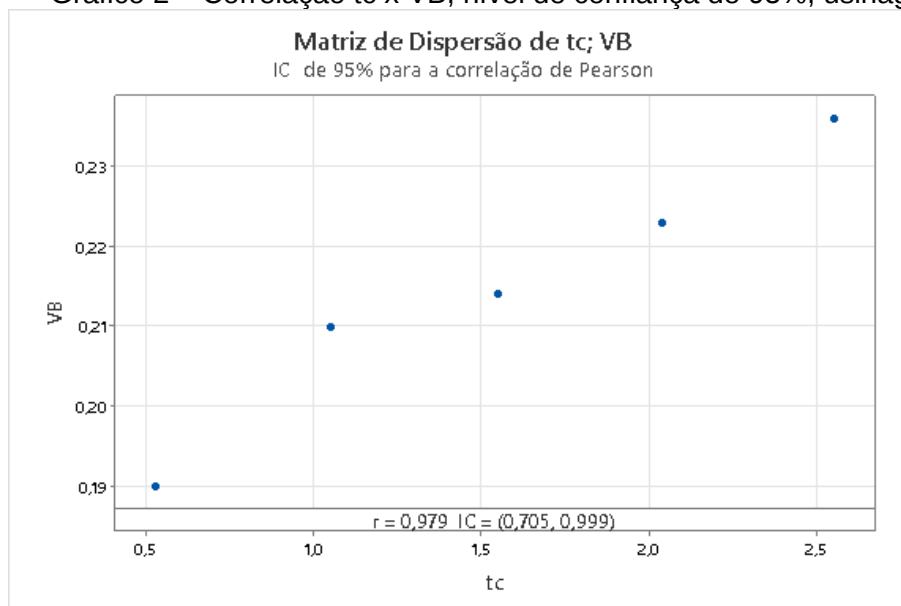
Fonte: O Autor (2023).

Figura 22 – Aspectos dos desgastes de flanco (VB):(a) 1ºpasse (b) 3ºpasse e (c) 5ºpasse



Fonte: O Autor (2023).

O Gráfico 2 apresenta a correlação, tc x VB, para o corte a seco. Analisando-se o **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e comparando-se o valor de r (0,979) com a Tabela 3 - Regra de ouro da interpretação do tamanho da correlação, constata-se que há uma correlação positiva muito alta entre o tempo de corte e o desgaste de flanco.

Gráfico 2 – Correlação t_c x VB, nível de confiança de 95%, usinagem a seco

Fonte: O Autor (2023).*(software Origin).

6.1.2 Corte com atmosfera protetora de argônio

Para o corte com atmosfera protetora de argônio, a Tabela 10 apresenta os valores medidos de desgaste de flanco para cada um dos 6 passes, bem como o tempo de corte para uma mesma aresta cortante, com $V_c = 100$ m/min, $ap = 0,5$ mm e $f = 0,46$ mm/volta.

Tabela 10 – Valores amostrais desgaste de flanco - multipasses - argônio - 0,46 mm/volta

Passe	Valores de VB (mm)					Média VB (mm)	Tempo de corte (min)
	x1	x2	x3	x4	x5		
1	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,129	0,59
2	0,18	0,21	0,21	0,21	0,21	0,206	1,16
3	0,20	0,21	0,22	0,22	0,21	0,216	1,72
4	0,20	0,22	0,23	0,23	0,25	0,227	2,27
5	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,231	2,74
6	0,23	0,23	0,24	0,23	0,24	0,233	3,23

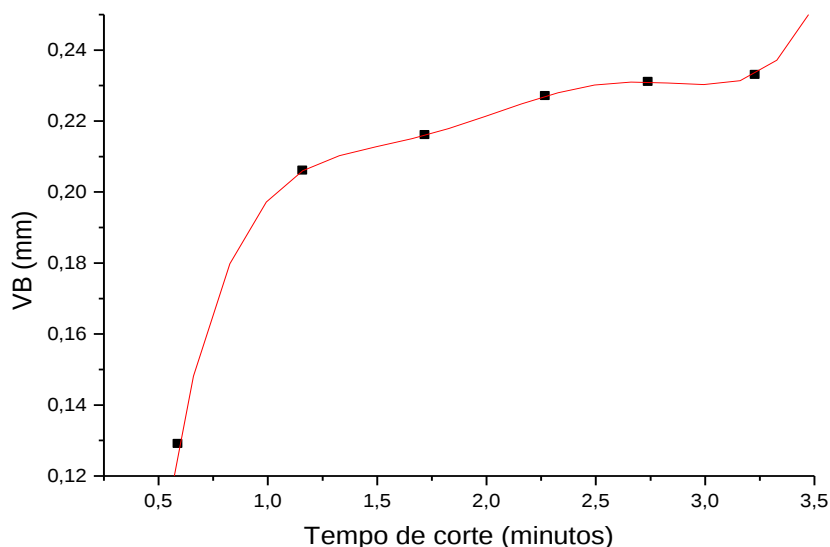
Fonte: O Autor (2023).

Comparando-se as tabelas Tabela 8 e Tabela 9, verifica-se que para se alcançar um valor próximo do desgaste de flanco máximo de 0,25 mm, foi realizado um sexto passe, um passe a mais, em relação à usinagem a seco. Para as amostras analisadas, o valor máximo de desgaste de flanco foi atingido no quinto passe da usinagem a seco, em 2,55 min de corte; na usinagem com argônio o valor máximo de

desgaste de flanco foi atingido no sexto passe, em 3,23 min de corte, indicando que o uso do argônio, como atmosfera protetora, atenua o desgaste da ferramenta.

O Gráfico 3 apresenta a variação do desgaste de flanco (VB) em função do tempo de corte (t_c). Por sua vez, a equação (4) apresenta a variação de VB em função de t_c com coeficiente de determinação $R^2 = 1$.

Gráfico 3 – VB em função do tempo de corte, usinagem c/argônio, $a = 0,46\text{mm/volta}$



Fonte: O Autor (2023).*(software Origin).

A equação (4) expressa a relação entre o desgaste de flanco e o tempo de corte para usinagem com atmosfera protetora de argônio.

$$VB = -0,29331 + 1,29585.t_c - 1,31988.t_c^2 + 0,65954.t_c^3 - 0,15939.t_c^4 + 0,01489.t_c^5 \quad (4).$$

Para validação da equação (4) foram executados 3 passes, com os mesmos parâmetros de usinagem utilizados para a obtenção dos dados apresentados na Tabela 10. A Tabela 11 apresenta os dados obtidos e aplicados para a validação da equação (4), que apresentou, para VB, uma diferença de 2% entre os valores medidos e calculados.

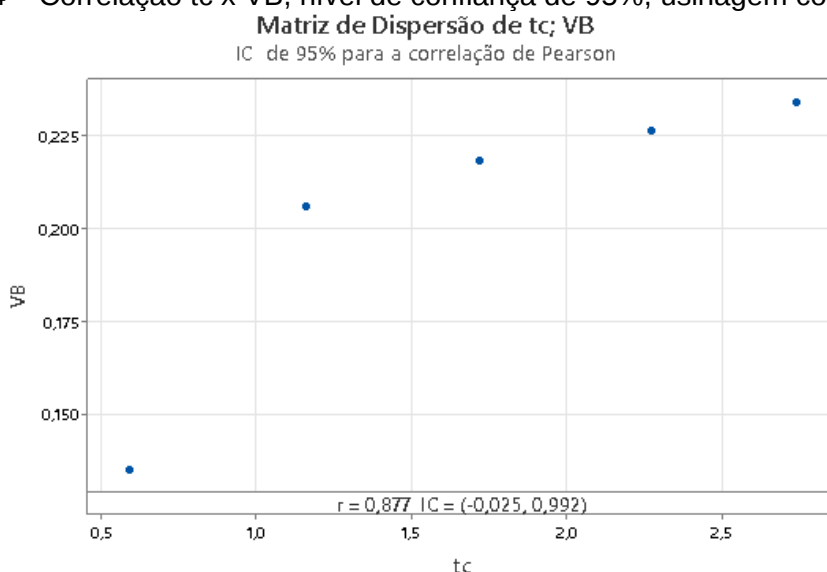
Tabela 11 - Validação da equação de VB para corte com argônio – 0,46mm/volta.

Valores amostrais desgaste de flanco - VB - argônio - 0,46 mm/volta										
VB = -0,29331+1,29585.tc -1,31988.tc2+0,65954.tc3-0,15939.tc4+0,01489.tc5										
Nº Passes	Tc	MEDIÇÃO DE VB (mm)							VB-calc	Diferença %
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	MÉDIA		
3	0,84	0,176	0,195	0,185	0,173	0,187	0,192	0,185	0,182	2%

Fonte: O Autor (2023).

O Gráfico 4 apresenta a correlação entre tempo de corte e desgaste de flanco para um nível de confiança de 95%.

Gráfico 4 – Correlação tc x VB, nível de confiança de 95%, usinagem com argônio



Fonte: O Autor (2023).*(software Origin).

Analisando-se o Gráfico 4 e comparando-se o valor do coeficiente de correlação linear de Pearson ($r=0,877$) na Tabela 3 - Regra de ouro da interpretação do tamanho da correlação, constata-se que há uma correlação positiva alta entre o tempo de corte e o desgaste de flanco.

6.1.3 Corte com fluido de corte

Para o corte com fluido de corte, a Tabela 12 apresenta os valores medidos de desgaste de flanco para cada um dos **5** passes, bem como o tempo de corte para uma mesma aresta cortante, com $V_c = 100$ m/min, $a_p = 0,5$ mm e $f = 0,46$ mm/volta.

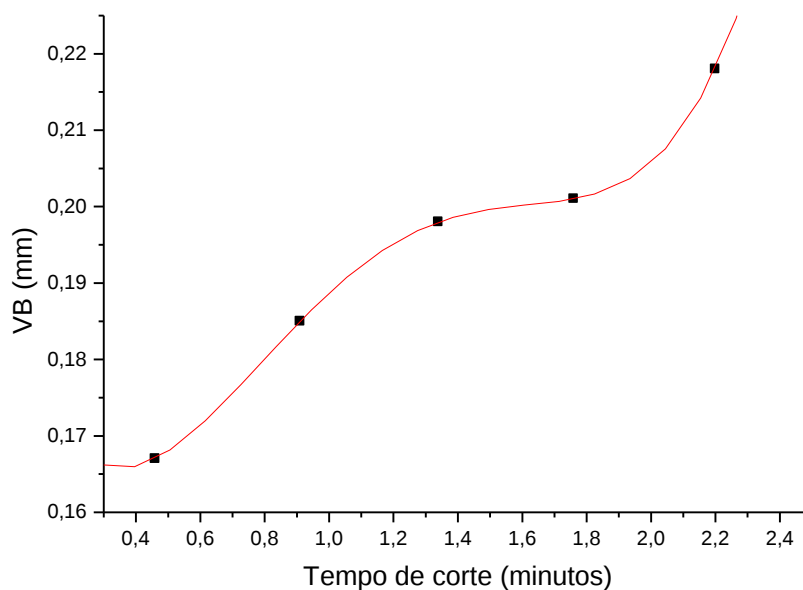
Tabela 12 – Valores amostrais de desgaste de flanco - multipasses - F. Corte - 0,46 mm/volta

Passe	Valores de VB (mm)					Média VB (mm)	Tempo de corte (min)
	x1	x2	x3	x4	x5		
1	0,16	0,16	0,16	0,17	0,18	0,167	0,46
2	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,185	0,91
3	0,18	0,20	0,20	0,20	0,21	0,198	1,34
4	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,201	1,76
5	0,20	0,22	0,22	0,23	0,23	0,218	2,20

Fonte: O Autor (2023).

O Gráfico 5 apresenta a variação do desgaste de flanco em função do tempo de corte. Analisando-se os dados de regressão, constata-se que a regressão polinomial de grau 4 apresentou o maior coeficiente de determinação (R^2). Assim, a Eq (5) apresenta a variação do desgaste de flanco em função do tempo de corte.

Gráfico 5 – VB em função do tempo de corte, usinagem c/ fluido de corte, $a=0,46\text{mm/volta}$



Fonte: O Autor (2023).*(software Origin).

A equação (5) expressa a relação entre o desgaste de flanco e o tempo de corte para usinagem com fluido de corte.

$$VB = 0,18595 - 0,13351.tc + 0,27188.tc^2 - 0,17113.tc^3 + 0,03552.tc^4 \quad (5)$$

Para validação da equação (5) foram executados 3 passes, com os mesmos parâmetros de usinagem utilizados para a obtenção dos dados

apresentados na Tabela 12. A Tabela 13 apresenta os dados obtidos e aplicados para validação da equação (5), que apresentou, para VB, uma diferença de 5% entre os valores medidos e calculados.

Tabela 13 - Validação da equação de VB para corte com fluído de corte – 0,46mm/volta.

Valores amostrais desgaste de flanco - multipasses - F. corte - 0,46 mm/volta

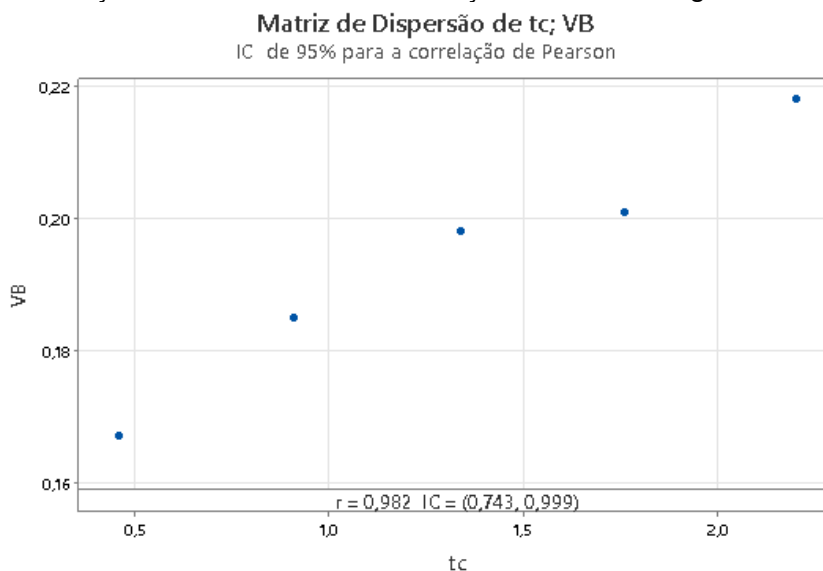
$$VB = 0,18595 - 0,13351.tc + 0,27188.tc^2 - 0,17113.tc^3 + 0,03552.tc^4$$

Nº Passes	Tc	MEDIÇÃO DE VB (mm)							VB-calc	Diferença %
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	MÉDIA		
3	0,71	0,176	0,181	0,171	0,162	0,166	0,146	0,167	0,176	5%

Fonte: O Autor (2023).

O Gráfico 6 apresenta a correlação, tc x VB, para o corte com fluído de corte.

Gráfico 6 – Correlação tc x VB, nível de confiança de 95%, usinagem com fluído de corte



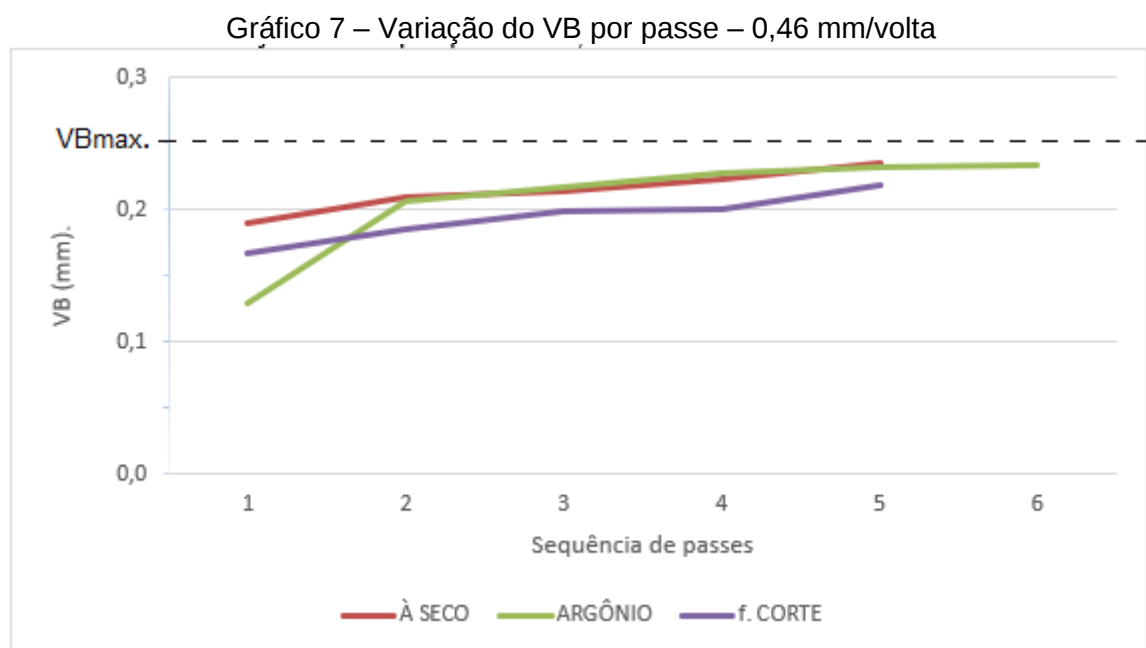
Fonte: O Autor (2023). *(software Origin).

Analisando-se o Gráfico 6 e comparando-se o valor do coeficiente de correlação linear de Pearson ($r=0,982$) na Tabela 3 - Regra de ouro da interpretação do tamanho da correlação, constata-se que há uma correlação positiva muito alta entre o tempo de corte e o desgaste de flanco.

Com relação à usinagem com argônio, acrescenta-se que o desgaste verificado no sexto passe (0,233mm) é menor que o desgaste verificado no quinto passe a seco (0,236mm), ou seja, o tempo de vida da ferramenta foi maior ao se utilizar o argônio.

O Gráfico 7 apresenta a variação do desgaste de flanco, entre passes, para as três condições (seco, argônio e fluído de corte). Através da análise deste gráfico

percebe-se um menor desgaste para a condição de corte com fluido de corte. O uso do argônio e a usinagem a seco apresentam comportamento semelhante. Vale destacar que para a usinagem com atmosfera protetora de argônio foi efetuado um sexto passe e, mesmo assim, não foi atingido o desgaste limite estabelecido para VB (0,25mm).



Fonte: O Autor (2023).*(software Origin).

6.2 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS DADOS AMOSTRAIS

O estudo a seguir, visa comparar os valores obtidos para a usinagem a seco, com fluido de corte e com o argônio como atmosfera protetora, considerando-se $V = 100$ m/min, $ap = 0,5$ mm e variando-se os seguintes avanços: $f = 0,19$ mm/volta, $f = 0,46$ mm/volta e $f = 0,76$ mm/volta para a medição do desgaste de flanco VB.

6.2.1 Avanço $f=0,19\text{mm/volta}$

A Tabela 14 apresenta os valores de VB, medidos após o primeiro passe, para cada meio: a seco, com argônio e com fluido de corte.

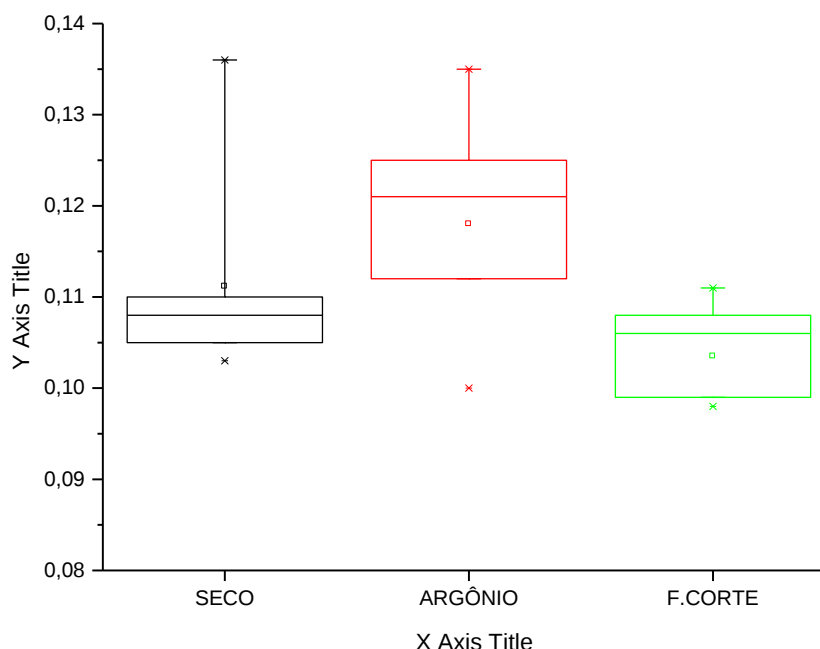
Tabela 14 – Desgaste de flanco (VB) para $f = 0,19\text{mm/volta}$, 1º passe

DESGASTE DE FLANCO (VB) – (mm)						
A seco	0,103	0,105	0,105	0,108	0,110	0,136
Argônio	0,100	0,112	0,115	0,121	0,125	0,135
F. corte	0,098	0,099	0,099	0,106	0,108	0,111

Fonte: O Autor (2023).

O Gráfico 8 apresenta um *box plot* para os dados obtidos para o desgaste de flanco VB, considerando-se o avanço de 0,19 mm/volta. É importante salientar que para este estudo foi utilizada uma aresta de corte nova na ferramenta para cada passe, tornando-se sempre o primeiro passe da aresta de corte.

Gráfico 8 – Box plot para as amostras de VB para $f = 0,19\text{ mm/volta}$, 1º passe



Fonte: O Autor (2023).*(software Origin).

Analisando-se o Gráfico 8, constata-se, com base nas amostras, que na usinagem com fluido de corte foi verificado o menor desgaste da ferramenta para o passe, e que a usinagem a seco gerou um desgaste de flanco ainda menor que o

corte com atmosfera protetora de argônio. Por outro lado, a maior variabilidade dos valores de desgaste foi obtida exatamente no corte realizado com atmosfera protetora de argônio. A diferença dos desgastes de flanco para os três meios analisados é inferior a 0,05mm.

6.2.2 Avanço $f=0,46\text{mm/volta}$

A Tabela 15 apresenta os valores de VB, medidos após o primeiro passe, para cada meio: a seco, com argônio e com fluído de corte.

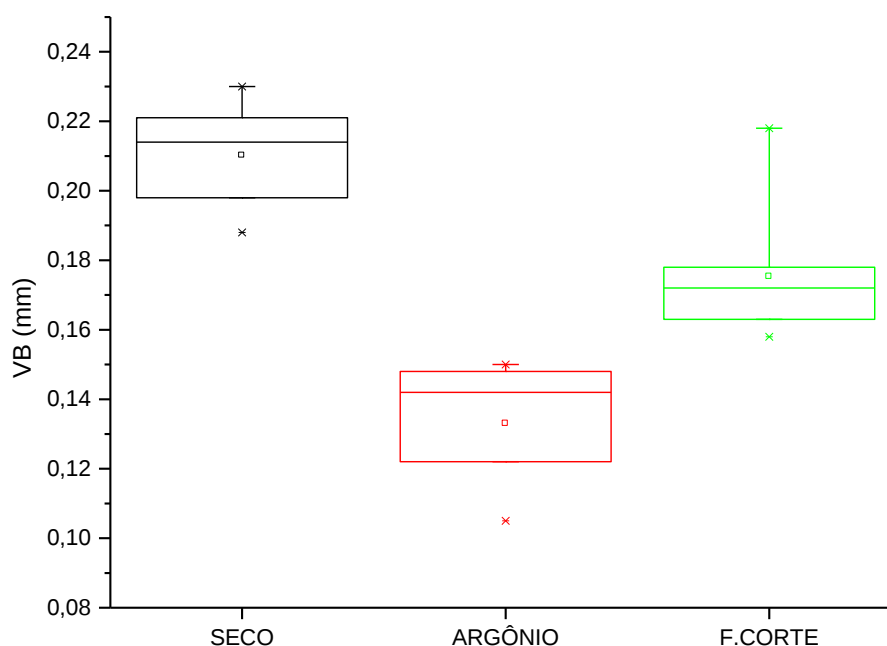
Tabela 15 – Desgaste de flanco (VB) para $f = 0,46\text{mm/volta}$, 1º passe

	DESGASTE DE FLANCO (VB) – mm					
A seco	0,188	0,198	0,210	0,221	0,230	0,241
Argônio	0,105	0,122	0,131	0,142	0,148	0,150
F. corte	0,158	0,163	0,163	0,172	0,178	0,218

Fonte: O Autor (2023).

O Gráfico 9 apresenta um *box plot* para o desgaste de flanco no avanço de 0,46 mm/volta, avanço médio indicado pelo fabricante como um valor que apresenta melhor performance da ferramenta. Os valores foram obtidos para um único passe.

Gráfico 9 – Box plot para as amostras de VB para $f = 0,46 \text{ mm/volta}$



Fonte: O Autor (2023).*(software Origin).

Analisando-se o Gráfico 9, constata-se que, ao contrário da situação anterior com $f = 0,19$ mm/volta, o menor desgaste se deu exatamente na situação em que foi utilizado o argônio; o maior desgaste para a usinagem a seco, como era de se esperar. Além disto, a maior variabilidade foi detectada no corte a seco.

6.2.3 Avanço $f=0,76$ mm/volta

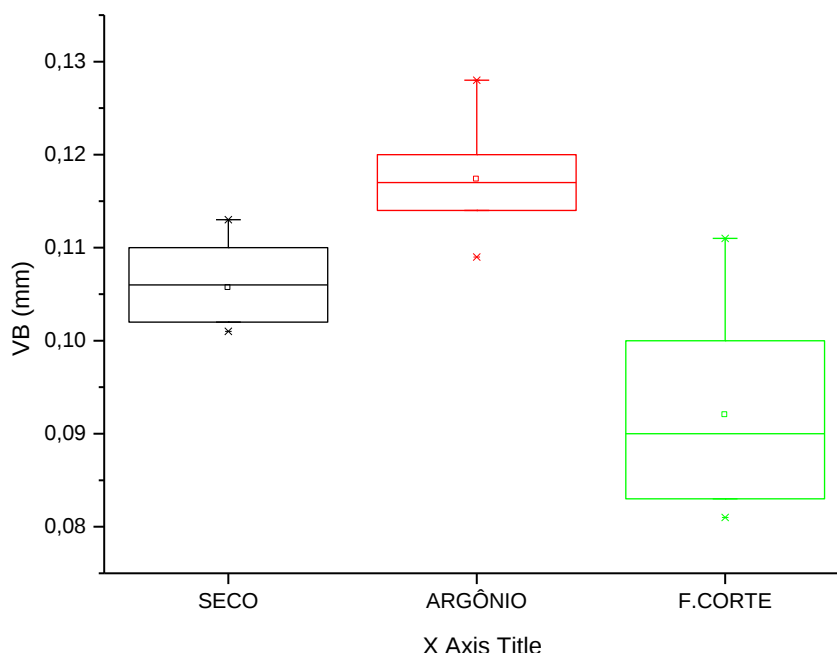
A Tabela 16, apresenta os valores de VB, medidos após o primeiro passe, para cada meio: a seco, com argônio e com fluído de corte.

Tabela 16 – Desgaste de flanco (VB) para $f = 0,76$ mm/volta, 1º passe

	DESGASTE DE FLANCO (VB) – mm					
A seco	0,101	0,102	0,102	0,106	0,110	0,113
Argônio	0,109	0,114	0,116	0,117	0,120	0,128
F. corte	0,081	0,083	0,087	0,090	0,100	0,111

Fonte: O Autor (2023).

O Gráfico 10, apresenta agora um *box plot* para o desgaste de flanco, alterando-se apenas o avanço para 0,76 mm/volta e mantendo-se as demais condições de corte constantes.

Gráfico 10 – Box plot para as amostras de VB para $f = 0,76$ mm/volta

Fonte: O Autor (2023).*(software Origin).

Analisando-se o Gráfico 10, verifica-se que o maior desgaste se apresenta para a usinagem com argônio e a menor com a usinagem com fluido de corte. Logo, pode-se concluir que para os limites de avanço ($f = 0,19$ mm/volta e $f = 0,76$ mm/volta), foram verificados os maiores valores de desgaste de flanco na usinagem com argônio, enquanto na usinagem com $f = 0,46$ mm/volta, o desgaste foi menor com o uso do argônio como atmosfera protetora.

6.3 INFERÊNCIAS ESTATÍSTICAS

Um dos principais objetivos deste trabalho é verificar, em termos de desgaste e acabamento de superfície, qual o meio mais vantajoso de se utilizar na usinagem desta liga com o inserto revestido especificado para este fim. Logo, existe a necessidade de se utilizar os valores amostrais obtidos para a realização de inferência estatística, visando a obtenção de conclusões para a população. Neste sentido, foram realizados os testes de hipóteses para se analisar se há diferenças entre o uso do argônio, do fluido de corte ou a realização da usinagem a seco, no tocante ao desgaste de flanco VB que tem uma relação direta com o aspecto econômico e com a qualidade da peça fabricada.

Antes da aplicação do teste de hipótese é necessário fazer o teste “ F ” (razão de duas variâncias) para identificação do tipo de variância entre as amostras: variância equivalente ou variância diferente; se o valor de “ F ” for maior que o valor de “ F crítico uni-caudal” as variâncias das duas amostras em questão são diferentes; o oposto, “ F ” < “ F crítico uni-caudal”, indicará variâncias equivalentes. Os resultados das análises comparativas entre “ F ” e “ F crítico” *aparecem nas últimas linhas das respectivas tabelas dos testes “ F ”*.

Essa definição é imprescindível para a aplicação dos testes de hipótese, pois o tipo de teste a ser aplicado dependerá do tipo de variância entre as amostras: teste “ t ” de estudante para variâncias equivalentes ou teste “ t ” de estudante para variâncias diferentes. No teste “ t ” se o valor de “ t calc” for menor que o valor de “ t crit”, a escolha do tipo de lubri-refrigeração, é indiferente para o desgaste da ferramenta de corte; o oposto, “ t calc” > “ t crit”, indicaria que a escolha teria interferência no desgaste da ferramenta. Os resultados das análises comparativas entre “ t ” e “ t crit” *aparecem nas últimas linhas das respectivas tabelas dos testes “ t ”*.

Na sequência são apresentados os testes de hipótese em uma análise conjunta com os dados do *box plot* para as três situações propostas.

6.3.1 Testes de hipótese para o avanço $f=0,19$ mm/volta

6.3.1.1 Corte com fluído de corte x corte a seco

A Tabela 17, mostra o teste F - duas amostras para determinação do tipo de variância: equivalente ou diferente, considerando-se o corte com fluído de corte e o corte a seco.

Tabela 17 – Teste “F” duas amostras para determinação de variância, VB para $f = 0,19$ mm/volta, corte com fluído de corte x corte a seco

T-F_VB_1ºp_FcxS_0,19: 2 amostras P/ variância		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	F. Corte	A seco
Média	0,1035	0,11118
Variância	0,0000307	0,00015956
Observações	6	6
F	0,19240112	
F crítico uni-caudal	0,13993095	
VARIANCIA_DIFERENTE		

Fonte: O Autor (2023).

A considerando-se o corte com fluído de corte e o corte a seco.

mostra o teste t – para duas amostras com variâncias diferentes, considerando-se o corte com fluído de corte e o corte a seco.

Tabela 18 – Teste “t” para duas amostras com variâncias diferente, VB para $f = 0,19$ mm/volta, corte com fluído de corte x corte a seco

T-t_VB_1ºp_FcxS_0,19: 2 amostras variâncias diferentes		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	F. Corte	A seco
Média	0,1035	0,11118
Variância	0,0000307	0,00015956
t calc	1,36383009	
t crit	2,84124425	
ESCOLHA_INDIFERENTE_PARA_O_DESGASTE		

Fonte: O Autor (2023).

6.3.1.2 Corte com fluído de corte x corte com argônio

A Tabela 19, mostra o teste F- duas amostras para determinação do tipo de variância: equivalente ou diferente, considerando-se o corte com fluído de corte e o corte com argônio.

Tabela 19 – teste “F” – duas amostras para determinação de variância - VB para $f = 0,19$ mm/volta, corte com fluído de corte x com atmosfera de argônio

T-F_VB_1°p_ArxFc_0,19: 2 amostras P/variância		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	F. Corte	Argônio
Média	0,1035	0,11813167
Variância	0,0000307	0,0001444
Observações	6	6
F	0,21261045	
F crítico uni-caudal	0,13993095	

VARIANCIA_DIFERENTE

Fonte: O Autor (2023).

A considerando-se o corte com fluído de corte e o corte com argônio.

mostra o teste t – para duas amostras com variâncias diferentes, considerando-se o corte com fluído de corte e o corte com argônio.

Tabela 20 – Teste “t” para duas amostras com variâncias diferentes, VB para $f = 0,19$ mm/volta, corte com fluído de corte x com atmosfera de argônio

T-t_VB_1°p_FcxAr_0,19: 2 amostras variâncias diferentes		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	F. Corte	Argônio
Média	0,1035	0,11813167
Variância	0,0000307	0,0001444
t calc	2,708519	
t crit	2,84124425	

ESCOLHA_INDIFERENTE_PARA_O_DESGASTE

Fonte: O Autor (2023).

6.3.1.3 Corte a seco x corte com argônio

A Tabela 21 mostra o teste F- duas amostras para determinação do tipo de variância: equivalente ou diferente, considerando-se o corte a seco e o corte com argônio.

Tabela 21 – teste “F” – duas amostras para determinação de variância - VB para $f = 0,19$ mm/volta, corte a seco e corte com atmosfera de argônio

T-F_VB_1ºp_SXAr_0,19: 2 amostras P/ variância		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	A seco	Argônio
Média	0,11118	0,11813167
Variância	0,00015956	0,0001444
Observações	6	6
F	1,10503748	
F crítico uni-caudal	7,14638183	

VARIANCIA EQUIVALENTE

Fonte: O Autor (2023).

A Tabela 22 mostra o teste t – para duas amostras com variâncias equivalentes, considerando-se o corte a seco e o corte com argônio.

Tabela 22 - Teste t – para duas amostras com variâncias equivalentes - VB para $f = 0,19$ mm/volta, corte a seco e corte com atmosfera de argônio

T-t_VB_1ºp_SxAr_0,19: 2 amostras variâncias equivalente		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	A seco	Argônio
Média	0,11118	0,11813167
Variância	0,00015956	0,0001444
t calc	0,9766923	
t crit	2,63376692	

ESCOLHA INDIFERENTE PARA O DESGASTE

Fonte: O Autor (2023).

Analisando-se os testes de hipótese para o avanço $f=0,19$ mm/volta, dentro dos parâmetros e condições do experimento, fica evidente que, diante dos três resultados de indiferença, com relação a lubri-refrigeração, para o desgaste da ferramenta, a opção mais viável é a usinagem a seco pois, qualquer outra opção teria custos adicionais que não se justificariam em função da diferença dos níveis de desgastes de flanco entre os três meios ter sido inferior a 0,05mm.

6.3.2 Testes de hipótese para o avanço $f=0,46$ mm/volta

6.3.2.1 Corte com argônio x corte a seco

A Tabela 23 mostra o teste F- duas amostras para determinação do tipo de variância: equivalente ou diferente, considerando-se o corte com argônio e o corte a seco.

Tabela 23 - Teste “F” duas amostras para determinação de variância, VB para $f = 0,46$ mm/volta, corte com atmosfera de argônio x corte a seco

T-F_VB_1ºp_ArxS_0,46: 2 amostras P/ variâncias		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	Argônio	A seco
Média	0,132893333	0,19515
Variância	0,000302307	0,000526951
Observações	6	6
F	0,57368966	
F crítico uni-caudal	0,13993095	
VARIANCIA_DIFERENTE		

Fonte: O Autor (2023).

A Tabela 24 mostra o teste t – para duas amostras com variâncias diferentes, considerando-se o corte com argônio e o corte a seco.

Tabela 24 – Teste “t” para duas amostras com variâncias diferentes, VB para $f = 0,46$ mm/volta, corte com atmosfera de argônio x corte a seco

T-t_VB_1ºp_ArxS_0,46: 2 amostras variâncias diferentes		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	Argônio	A seco
Média	0,13289333	0,19515
Variância	0,00030231	0,00052695
t calc	5,29561835	
t crit	2,68501085	
ESCOLHA_INTERFERE_NO_DESGASTE		

Fonte: O Autor (2023).

6.3.2.2 Corte com argônio x corte com fluído de corte

A Tabela 25 mostra o teste F - duas amostras para determinação do tipo de variância: equivalente ou diferente, considerando-se o corte com argônio e o corte com fluído de corte.

Tabela 25 – Teste “F” duas amostras para determinação de variância, VB para $f = 0,46$ mm/volta, corte com atmosfera de argônio x fluído de corte.

T-F_VB_1ºp_ArxFc_0,46:2 amostras P/variância		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	Argônio	F. Corte
Média	0,13289333	0,17537
Variância	0,00030231	0,00048483
Observações	6	6
F	0,62352495	
F crítico uni-caudal	0,13993095	
VARIANCIA_DIFERENTE		

Fonte: O Autor (2023).

A Tabela 26 mostra o teste t – para duas amostras com variâncias diferentes, considerando-se o corte com argônio e o corte com fluído de corte.

Tabela 26 – Teste “t” para duas amostras com variâncias diferentes, VB para $f = 0,46$ mm/volta, corte com atmosfera de argônio x fluído de corte

T-t_VB_1ºp_ArxFc_0,46: 2 amostras variâncias diferentes		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	Argônio	F. Corte
Média	0,13289333	0,17537
Variância	0,00030231	0,00048483
t calc	3,70851221	
t crit	2,68501085	
ESCOLHA_INTERFERE_NO_DESGASTE		

Fonte: O Autor (2023).

6.3.2.3 Corte a seco x corte com fluído de corte

A Tabela 27 mostra o teste F - duas amostras para determinação do tipo de variância: equivalente ou diferente, considerando-se o corte a seco e o corte com fluído de corte.

Tabela 27 – Teste “F” duas amostras para determinação de variância, VB para $f = 0,46$ mm/volta, corte a seco x fluído de corte

T-F_VB_1ºp_SxFc_0,46: 2 amostras P/ variância		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	A seco	F. Corte
Média	0,19515	0,17537
Variância	0,00052695	0,00048483
Observações	6	6
F	1,08686804	
F crítico uni-caudal	7,14638183	

VARIANCIA EQUIVALENTE

Fonte: O Autor (2023).

A considerando-se o corte a seco e o corte com fluído de corte.

mostra o teste t – para duas amostras com variâncias equivalentes, considerando-se o corte a seco e o corte com fluído de corte.

Tabela 28 – Teste “t” para duas amostras com variâncias equivalentes, VB para $f = 0,46$ mm/volta, corte a seco x fluído de corte

T-t_VB_1ºp_SxFc_0,46: 2 amostras variâncias equivalentes		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	A seco	F. Corte
Média	0,19515	0,17537
Variância	0,00052695	0,00048483
t calc	1,52320221	
t crit	2,63376692	

ESCOLHA INDIFERENTE PARA O DESGASTE

Fonte: O Autor (2023).

Analisando-se os testes de hipótese para o avanço $f=0,46$ mm/volta, dentro dos parâmetros e condições do experimento, fica evidente que, o corte com atmosfera protetora de argônio é a melhor opção pois, nas duas hipóteses envolvendo o argônio, o resultado foi que a escolha deste, interfere no desgaste da ferramenta. O aumento da diferença dos níveis de desgaste de flanco entre os três meios, 0,10mm, o dobro em comparação com os mesmos testes aplicados para o avanço $f=0,19$ mm/volta, indicam relevância na utilização do argônio. Para o avanço $f=0,46$ mm/volta, os testes

de hipótese corroboram com os resultados apresentados no *box plot* para a amostra analisada.

6.3.3 Testes de hipótese para o avanço $f=0,76$ mm/volta

6.3.3.1 Corte com fluído de corte x corte a seco

A Tabela 29 mostra o teste F - duas amostras para determinação do tipo de variância: equivalente ou diferente, considerando-se o corte com fluído de corte e o corte a seco.

Tabela 29 – Teste “F” – duas amostras para determinação de variância, VB para $f = 0,76$ mm/volta, corte com fluído de corte x corte a seco

T-F_VB_1ºp_FcxS_0,76: 2 amostras P/variância		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	F. Corte	A seco
Média	0,092	0,10585167
Variância	0,0001312	2,3898E-05
Observações	6	6
F	5,49007804	
F crítico uni-caudal	7,14638183	
VARIANCIA_EQUIVALENTE		

Fonte: O Autor (2023).

A Tabela 30 mostra o teste t – para duas amostras com variâncias equivalentes, considerando-se o corte com fluído de corte e o corte a seco.

Tabela 30 – Teste “t” para duas amostras com variâncias equivalentes, VB para $f = 0,76$ mm/volta, corte com fluído de corte x corte a seco

T-t_VB_1ºp_FcxS_0,76: 2 amostras variâncias equivalentes		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	F. Corte	A seco
Média	0,092	0,10585167
Variância	0,0001312	2,3898E-05
t calc	2,72442614	
t crit	2,63376692	
ESCOLHA_INTERFERE_NO_DESGASTE		

Fonte: O Autor (2023).

6.3.3.2 Corte com fluído de corte x corte com argônio

A Tabela 31 mostra o teste F - duas amostras para determinação do tipo de variância: equivalente ou diferente, considerando-se o corte com fluído de corte e com argônio.

Tabela 31 – Teste “F” duas amostras para determinação de variância, VB para $f = 0,76$ mm/volta, corte com fluído de corte x atmosfera de argônio

T-F_VB_1ºp_FcxAr_0,76:2 amostras P/variância		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	F. Corte	Argônio
Média	0,092	0,11733333
Variância	0,0001312	4,0667E-05
Observações	6	6
F	3,22622951	
F crítico uni-caudal	7,14638183	
VARIANCIA_EQUIVALENTE		

Fonte: O Autor (2023).

A Tabela 32 mostra o teste t – para duas amostras com variâncias equivalentes, considerando-se o corte com fluído de corte e com argônio.

Tabela 32 – Teste “t” para duas amostras com variâncias equivalente, VB para $f = 0,76$ mm/volta, corte com fluído de corte x atmosfera de argônio

T-t_VB_1ºp_FcxAr_0,76: 2 amostras variâncias equivalentes		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	F. Corte	Argônio
Média	0,092	0,11733333
Variância	0,0001312	4,0667E-05
t calc	4,73338833	
t crit	2,63376692	
ESCOLHA_INTERFERE_NO_DESGASTE		

Fonte: O Autor (2023).

6.3.3.3 Corte a seco x corte com argônio

A Tabela 33 mostra o teste F - duas amostras para determinação do tipo de variância: equivalente ou diferente, considerando-se o corte a seco e com argônio.

Tabela 33 – Teste “F” duas amostras para determinação de variância, VB para $f = 0,76$ mm/volta, corte a seco x atmosfera de argônio

T-F_VB_1ºp_SxAr_0,76: 2 amostras P/ variâncias		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	A seco	Argônio
Média	0,10585167	0,11733333
Variância	2,3898E-05	4,0667E-05
Observações	6	6
F	0,5876473	
F crítico uni-caudal	0,13993095	
VARIANCIA_DIFERENTE		

Fonte: O Autor (2023).

A Tabela 34 mostra o teste t – para duas amostras com variâncias diferentes, considerando-se o corte a seco e com argônio.

Tabela 34 – Teste “t” para duas amostras com variâncias diferentes, VB para $f = 0,76$ mm/volta, corte a seco x atmosfera de argônio

T-t_VB_1ºp_SxAr_0,76: 2 amostras variâncias diferentes		
	Variável 1	Variável 2
Lubri-refrigeração	A seco	Argônio
Média	0,10585167	0,11733333
Variância	2,3898E-05	4,0667E-05
t calc	3,50013067	
t crit	2,68501085	
ESCOLHA_INTERFERE_NO_DESGASTE		

Fonte: O Autor (2023).

Analisando-se os testes de hipótese para o avanço $f=0,76$ mm/volta, dentro dos parâmetros e condições do nosso experimento, fica evidente que, o corte com fluído de corte é a melhor opção pois, nas duas hipóteses envolvendo o fluído de corte o resultado foi que a escolha deste, interfere no desgaste da ferramenta. É relevante o fato de que a diferença dos níveis de desgastes de flanco entre os três meios, menor que 0,05mm, é a menor diferença em comparação com os mesmos testes aplicados para o avanço $f=0,19$ mm/volta, 0,05mm e o avanço $f=0,46$ mm/volta, 0,10mm. Neste

caso específico para avanço $f=0,76\text{mm/volta}$, mais uma vez, os testes de hipótese corroboram com os resultados apresentados no *box plot* considerando-se a amostra analisada.

6.4 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO MEIO DE USINAGEM NO ACABAMENTO SUPERFICIAL

O estudo a seguir, tem por objetivo verificar se há variações expressivas no acabamento superficial ao se variar o meio em que a usinagem foi realizada, considerando-se a usinagem a seco, com argônio e com fluido de corte. Este estudo foi realizado para a velocidade de corte $V = 100\text{ m/min}$, profundidade de corte $a_p = 0,5\text{ mm}$ e o avanço $f = 0,46\text{ mm/volta}$ em um único passe. A Tabela 35 apresenta os valores do parâmetro R_a de rugosidade, obtidos na usinagem de acabamento, considerando-se os três meios em questão.

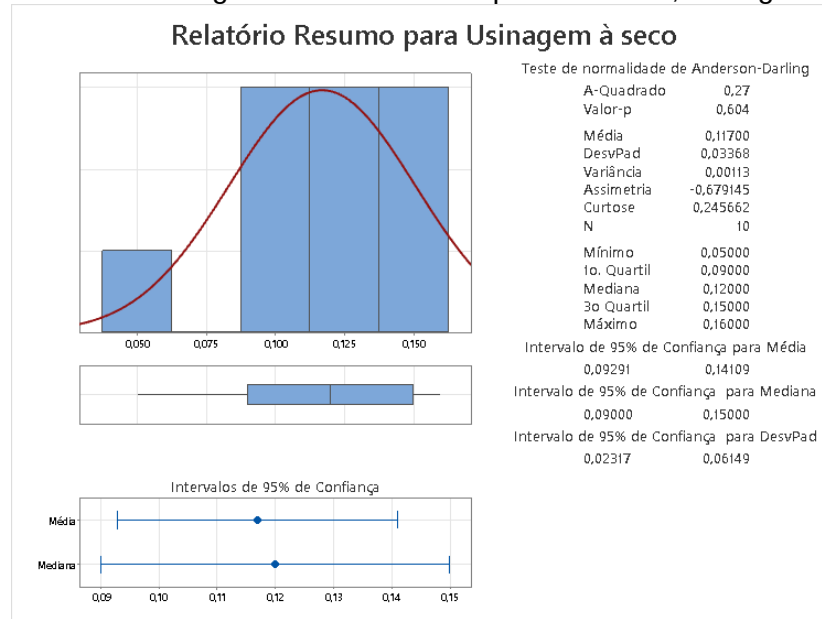
Tabela 35 – Valores de R_a para a usinagem a seco, com argônio e com fluido de corte

Parâmetro R_a (μm) – $f=0,46\text{mm/volta}$		
A seco	Argônio	Fluido de corte
0,09	0,12	0,12
0,12	0,16	0,13
0,16	0,11	0,19
0,15	0,11	0,10
0,12	0,15	0,09
0,11	0,14	0,06
0,13	0,07	0,08
0,09	0,15	0,07
0,05	0,12	0,08
0,15	0,16	0,05

Fonte: O Autor (2023).

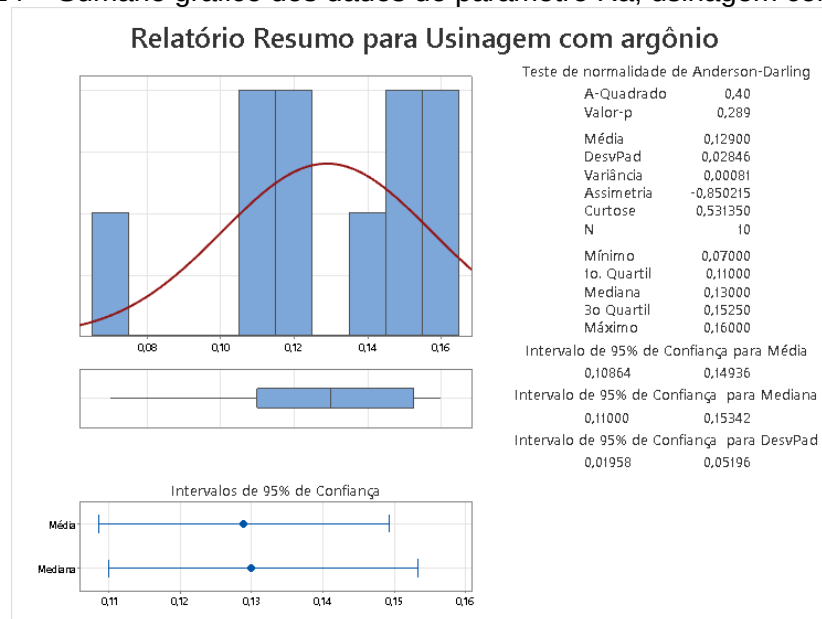
Inicialmente, foi utilizado o software MINITAB para se realizar um sumário estatístico para as três amostras, conforme apresentado nas: Figura 23, Figura 24 e Figura 25. Analisando-se as três figuras, pode-se constatar a normalidade da amostra pelo Teste de Anderson-Darling, considerando-se um nível de confiança de 95%, uma vez que para todas as amostras, o *valor-p* foi superior a 0,05. Por sua vez, o Gráfico 11 apresenta um *box-plot*, envolvendo as três amostras. Analisando-se esta figura, verificam-se variações tanto na tendência central quanto na variabilidade.

Figura 23 – Sumário gráfico dos dados do parâmetro Ra, usinagem a seco



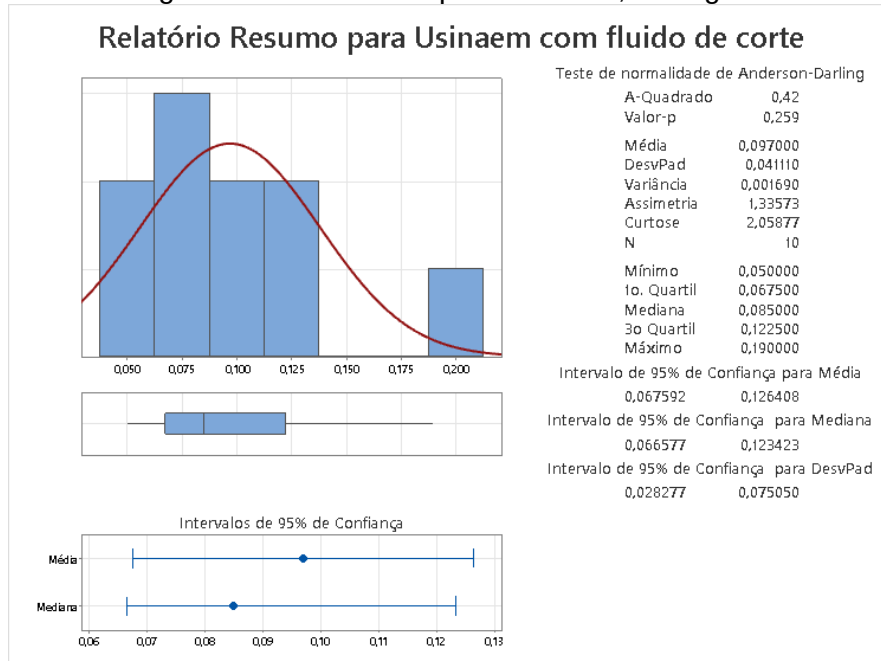
Fonte: software MINITAB.

Figura 24 – Sumário gráfico dos dados do parâmetro Ra, usinagem com argônio



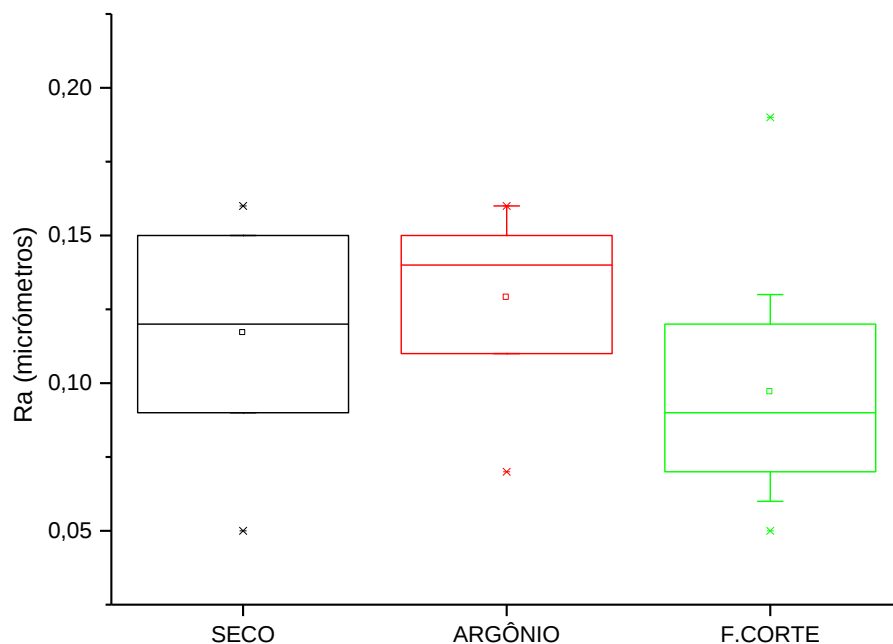
Fonte: software MINITAB.

Figura 25 – Sumário gráfico dos dados do parâmetro Ra, usinagem com fluido de corte



Fonte: software MINITAB.

Gráfico 11 – Box-plot envolvendo os dados de rugosidade das três amostras



Fonte: O Autor (2023).*(software Origin).

A fim de verificar se é possível considerar uma equivalência na rugosidade nos três meios, ou seja, se o acabamento superficial independe do meio onde a usinagem foi realizada para as condições de corte apresentadas, foi aplicada a análise de variâncias (ANOVA – *Analysis of variance*), de fator único, para um nível de

confiança de 95%, onde a característica analisada é a rugosidade. A Tabela 36, apresenta os resultados da aplicação da análise de variâncias utilizando o *Microsoft Excel*, onde:

- SQ representa a variação que pode ser entre grupos e dentro dos grupos;
- *gl* são os graus de liberdade;
- MQ representa a variância que pode se dar entre grupos e dentro dos grupos;
- *F* é o valor calculado da distribuição F;
- *F crítico* é o valor crítico da distribuição F.

Para tal, tem-se as seguintes hipóteses:

H_0 : as médias populacionais são iguais;

H_1 : nem todas as médias populacionais são iguais.

Tabela 36 – Dados da ANOVA, considerando-se os três meios (seco, argônio e f. de corte)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-p	F crítico
Entre grupos	0,00523	2	0,002613	2,157138	0,135173	3,3541
Dentro dos grupos	0,03271	27	0,001211	-	-	-

Fonte: O Autor (2023).

Analisando-se a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, constata-se que como *F* é menor que o *F crítico*, a hipótese nula H_0 foi verificada, ou seja, não há diferença entre as médias populacionais. Isto significa, que para a usinagem desse material, utilizando-se a ferramenta de corte e porta-ferramentas com essas especificações e com as condições de corte supracitadas, independe se a usinagem é realizada a seco, com argônio ou com fluido de corte. Neste caso, em função da redução nos custos e preservação do meio ambiente, é razoável se optar pela usinagem a seco.

7 CONCLUSÕES

As conclusões aqui apresentadas dizem respeito à usinagem de acabamento da liga Ti6Al4V e são baseadas nos resultados e análises de experimentos realizados com ferramenta de corte específica para acabamento, aplicadas dentro dos parâmetros estabelecidos pelo fabricante.

A análise do coeficiente de correlação linear de Pearson (r) entre o desgaste de flanco VB e o tempo de corte t_c , em passes múltiplos para $V = 100$ m/min, $ap = 0,5$ mm e $f = 0,46$ mm/volta, apresentou, no corte a seco, uma correlação positiva muito alta. No corte com atmosfera protetora de argônio, a correlação foi positiva alta. Por fim, no corte com fluído de corte a correlação voltou a ser positiva muito alta.

Os avanços aplicados são recomendações do fabricante da ferramenta assim pode-se concluir que: se for aplicado o avanço em seu limite inferior ou superior, a ferramenta de corte terá maior longevidade quando da utilização do fluído de corte. Se for aplicado o avanço médio a vida útil da ferramenta será maior quando da aplicação do corte com atmosfera protetora de argônio.

A partir da realização de inferências estatísticas visando a obtenção de conclusões para a população, através dos testes de hipótese, obteve-se uma análise conjunta com os dados do *box plot*, comparando as três situações de desgaste de flanco VB: corte a seco, corte em atmosfera inerte de argônio e corte com fluído de corte, para cada avanço aplicado no experimento, de modo que para o avanço $f = 0,19$ mm/volta a escolha do corte a seco, corte com argônio ou corte com fluído de corte, é totalmente indiferente para o desgaste da ferramenta. Nesse avanço, a média entre as diferenças dos desgastes de flanco VB, entre os três meios, foi muito baixa, 0,008mm, e por isso obteve-se o resultado de total indiferença. Nesse avanço, embora o box plot indique discreta vantagem para o uso do fluído de corte, cortar a seco, cortar com atmosfera protetora de argônio ou cortar com fluído de corte não terá influência alguma no tempo de vida útil da ferramenta de corte.

Para o avanço $f = 0,46\text{mm/volta}$ a escolha do corte com argônio interfere no desgaste da ferramenta. A escolha dos cortes a seco ou com fluido de corte são indiferentes para o desgaste da ferramenta. Nesse avanço, a média entre as diferenças dos desgastes de flanco VB entre os três meios foi baixa, $0,040\text{mm}$, porém 5 vezes maior que a média verificada para o avanço $0,19\text{mm/volta}$, e por isso obteve-se o resultado de interferência quando do uso do gás argônio como atmosfera protetora para o corte. Nesse avanço, o *box plot* indica significativa vantagem para o uso do argônio; usar atmosfera protetora de argônio aumenta o tempo de vida útil da ferramenta de corte.

Por fim, para o avanço $f = 0,76\text{mm/volta}$ a escolha do corte a seco, corte com argônio ou corte com fluido de corte, é totalmente interferente para o desgaste da ferramenta. Nesse avanço a média entre as diferenças dos desgastes de flanco VB, entre os três meios foi muito baixa, $0,013\text{mm}$, que é 1,6 vezes maior que a média verificada para o avanço $0,19\text{mm/volta}$ e 3 vezes menor que a média verificada para o avanço $0,040\text{mm/volta}$. Obteve-se o resultado de total interferência seja qual for o meio utilizado. Nesse avanço, o *box plot* indica discreta vantagem para o uso do fluido de corte, portanto usar fluido de corte aumenta o tempo de vida útil da ferramenta de corte.

Quanto a validação das equações obtidas, a partir da regressão polinomial, para o cálculo do desgaste de flanco (VB) foi verificada, para o corte a seco, uma diferença de 24% entre o valor calculado e o valor medido no flanco de corte; para o corte com proteção de argônio, a diferença foi de apenas 2% e para o corte com fluido de corte a diferença ficou em 5%.

Quanto à interferência do meio de usinagem no acabamento superficial, ao se verificar se haveriam variações expressivas no acabamento superficial ao se variar o meio em que a usinagem foi realizada, considerando-se a usinagem a seco, corte com argônio e corte com fluido de corte nas condições de velocidade de corte $V = 100\text{ m/min}$, profundidade de corte $a_p = 0,5\text{ mm}$ e o avanço $f = 0,46\text{ mm/volta}$ em um único passe constata-se, a partir de um sumário estatístico e posterior análise de variância de fator único, que não há diferença entre as médias

populacionais. Isto significa, que para a usinagem desse material, utilizando-se a ferramenta de corte e porta-ferramentas com essas especificações e com as condições de corte apresentadas, o acabamento superficial independe se a usinagem é realizada a seco, com argônio ou com fluido de corte.

Finalmente, diante dos resultados de discretas vantagens para a preservação da ferramenta de corte e nenhuma vantagem significativa para o acabamento superficial em função do meio onde ocorre a usinagem e sabendo-se que ferramentas e fluídos de corte representam até 21% dos custos globais de produção, em se tratando da usinagem do titânio e suas ligas, sendo 2 a 4% para as ferramentas de corte e 17% para os fluídos de corte cuja aplicação pode causar grandes prejuízos ao meio ambiente, entende-se que em função da redução nos custos e preservação do meio ambiente, é razoável se optar pela usinagem a seco.

8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar o levantamento da fórmula expandida de Taylor para o material, com a mesma ferramenta e para cada um dos meios de lubri-refrigeração estudados;
- Obter os parâmetros ótimos de corte para cada um dos meios de lubri-refrigeração estudados;
- Ampliar o estudo com uma maior quantidade de avanços, para a velocidade de corte ótima, considerando-se a condição de mínimo custo e máxima produção;
- Realizar um estudo detalhado dos custos envolvendo a usinagem da liga Ti6Al4V com fluído de corte convencional e com atmosfera protetora de argônio.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, Adel T. *et al.* Multi-Response Optimization in high-speed machining of ti-6al-4v using TOPSIS-Fuzzy integrated approach. **Materials**, v. 13, n. 5, p. 1104, 2020.
- ALBORZ, SHOKRANI et al. Hybrid cryogenic MQL for improving tool life in machining of Ti-6Al-4V titanium alloy. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 43, Part A, July 2019, Pages 229-243.
- ALMEIDA, Cristiano Mateus de. **Avaliação do desgaste da ferramenta de metal duro revestida com TiN no fresamento do aço ABNT4140 laminado a quente e temperado/revenido**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK. **Properties and Selection:** Nonferrous alloys and special-purpose materials (ASM Handbook). Materials Park-Ohio, USA: ASM International, 1992, v. 2.
- AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK. **Properties and selection:** Nonferrous alloys special-purpose materials. EUA: ASM International, 2005, v. 2.
- AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **Committee** (1972). Microstructure of titanium and titanium alloys. Metals handbook, 8. ed. Materials Park-Ohio, USA: ASM Intenational, 1972, v. 7.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORAMS TÉCNICAS. **NBR ISO 3685:2017**. Ensaio de vida da ferramenta de ponta única para torneamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10012:2004**. Sistemas de gestão de medição - Requisitos para os processos de medição e equipamentos de medição. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 4287:2002**. Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 17025:2017**. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- BARBOSA, Cássio. **Metais não ferrosos e suas ligas**: microestrutura, propriedades e aplicações. Rio de Janeiro: E-papers, 2014.
- BARROS NETO, Benício; SCARMINIO, Ieda Spacino; BRUNS, Roy Edward. **Como fazer experimentos**. 3. ed. Campinas: Unicamp, 2007.
- BHAUMIK, Sumon Kumar; DIVAKAR, Canchi; SINGH, Arvind Kumar. Machining Ti-6Al-4V alloy with a wBN-cBN composite tool. **Materials & Design**, v. 16, n. 4, p. 221-226, jan. 1995.

BOLARINWA JOHNSON. KUTELU, et al. Review of GTAW Welding Parameters. **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, Vol.6 No.5, September 2018

BRUNELLI, Alessandro. **Calibration handbook of measuring instruments**. United Estates of America: ISA, 2017.

CALLISTER JUNIOR, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais**: Uma introdução. Tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares. 10. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2021.

COLAFEMINA, João Paulo. **Estudo da microusinabilidade do Ti (CP) e da liga Ti-6Al-4V no torneamento com ferramenta de diamante**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

DANIL YU, PIMENOV et al. Improvement of machinability of Ti and its alloys using cooling-lubrication techniques: a review and future prospect. **Journal of Materials Research and Technology**, Volume 11, March–April 2021, Pages 719-753.

DONACHIE, Matthew J. **Titanium**: A technical guide. 2. ed. Materials Park, Ohio: ASM International, 1988.

EZUGWU, Ernest Ozoemela; BONNEY, J.ohn; YAMANE, Yasuo. An overview of the machinability of aeroengine alloys. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 134, n. 2, p. 233-253, 2003.

FERRARESI, Dino. Otimização das condições de usinagem em produção seriada. **Revista Máquinas e Metais**, São Paulo, n. 286, p. 24-37, 1989.

FERRARESI, Dino. Fundamentos da usinagem dos metais. Reimpressão, **Editora Edgard Bluecher LTDA**, São Paulo, 1970. V. 1.

GEOMETRICAL PRODUCT SPECIFICATIONS. **DIN EN ISO 4287**. Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters (ISO 4287:1997 + Cor 1:1998 + Cor 2:2005 + Amd 1:2009). Jul. 2010. Disponível em: https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?&input_doc_number=&input_doc_title=&document_name=DIN%20EN%20ISO%204287&item_s_key=00319709&item_key_date=890530&origin=DSSC. Acesso em: 28 ago. 2023.

Geocities.WS beta. YOUR HOME ON THE WEB. Disponível em: https://www.geocities.ws/cmoVBr73/ProcFabr_Cap4_Desgaste. Acesso em 15-ago-2023

GRUBBS, Frank E. Procedures for detecting outlying observations in samples. **American Society for Quality, Technometrics**, v. 11, n. 1, p. 1-21, 1969.

GUPTA, Kapil; LAUBSCHER, Rudolph F. Sustainable machining of titanium alloys: a critical review. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 231, n. 14, p. 2543-2560, 2016.

GUPTA, Munish K.; SOOD, Pardeep Kumar. Surface roughness measurements in NFMQL assisted turning of titanium alloys: An optimization approach. **Friction**, v. 5, n. 2, p. 155-170, 2017.

HOSSEINI, Ali; KISHAWY, Hossam A. **Materials forming, machining and tribology**. Oshawa, Canadá, 2018.

JAMIL, Muhammad *et al.* Effects of hybrid Al₂O₃-CNT nanofluids and cryogenic cooling on machining of Ti-6Al-4V. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 102, p. 3895-3909, 2019.

JAY, AIRÃO, et al. Machinability analysis of Titanium 64 using ultrasonic vibration and vegetable oil. **Materials and Manufacturing Processes**, Pages 1893-1901 | Received 28 Feb 2022, Accepted 08 Mar 2022, Published online: 14 Apr 2022.

JIUHUA XU, et al. Tool wear investigation in high-pressure jet coolant assisted machining Ti₂AlNb intermetallic alloys based on FEM. **International Journal of Lightweight Materials and Manufacture**, Volume 1, Issue 4, December 2018, Pages 219-228.

K. ARUNPRASATH et al. Cryogenic turning of titanium alloys: Machinability characteristics and environmental consequences. **Materialstoday: PROCEEDINGS**, Volume 66, Part 3, 2022, Pages 749-753.

K. NIMEL SWORNA ROSS; M. Ganesh. Performance Analysis of Machining Ti-6Al-4V Under Cryogenic CO₂ Using PVD-TiN Coated Tool. **Journal of Failure Analysis and Prevention**, Published: 21 June 2019.

KAPUR, Kailash C. **Reability engineering**. Hoboke, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014.

KECECIOGLU, Dimitri. **Reliability & Life Testing Handbook**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1993-1994.

KECECIOGLU, Dimitri. **Reliability engineering handbook**. USA: Destech Publications, Inc, 2002.

KHAN, Akhtar; MAITY, Kalipada. **Application potential of combined fuzzy-TOPSIS approach in minimization of surface roughness, cutting force and tool wear during machining of CP-Ti grade II**. Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature, 2018.

KROLL, Wilhelm. The production of ductile titanium. **Transactions of the Electrochemical Society**, v. 78, n. 1, p. 35-47, 1940.

KUMAR, Ramanuj *et al.* Analysis of wiper tool failure and surface roughness in turning of bio-compatible Ti-6Al-4V ELI alloy. **Journal of Failure Analysis and Prevention**, v. 21, p. 1403-1422, 2021.

LIANG, Xiaoliang; LIU, Zhanqiang; WANG, Bing. Multi-pattern failure modes and wear mechanisms of WC-Co tools in dry turning Ti-6Al-4V. **Ceramics International**, v. 46, n. 15, p. 24512-24525, 2020.

LINK, Walter. **Tópicos avançados da metrologia mecânica**: Confiabilidade metrológica e suas aplicações na metrologia. São Paulo: IMETRO, 2000.

LOPÉZ DE LACALLE, Luis Norberto; GODINO-LLORENTE, Juan I.; SANCHEZ, Jorge A. Improving the cutting Parameters the machining of Nickel and Titanium alloys. **Annals of the CIRP**, v. 47, 1998.

LÜTJERING, Gerd; WILLIAMS, James C. **Titanium**. 2. ed. Berlin: Springer Berlin, 2007.

MACHADO, Álisson *et al.* **Teoria da usinagem dos materiais**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

MACHADO, Allison R.; WALLBANK, James. Machining of titanium and its alloys: A review. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 204, n. 1, p. 53-60, 1990.

MILAN, Julio César Giubilei. **Usinabilidade de Aços para moldes para plástico**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1999.

MOURA, Ricardo Ribeiro. **1986-Usinagem da liga Ti6Al4V com aplicação de lubrificantes sólidos no torneamento**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

MOURA, Ricardo Ribeiro; SILVA, Marcio Baci da; RESENDE, André Alves de. **Avaliação da rugosidade no torneamento da liga Ti-6Al-4V com diferentes lubrificantes sólidos**. **Máquinas e Metais**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

MUKAKA, Mavuto M. A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

NASA. **Measurement Uncertainty Analysis Principles and Methods**. NASA Measurement Quality Assurance Handbook – ANNEX 3. Washington DC 20546: National Aeronautics and Space Administration, 2010.

NIKNAM, Seyed Ali *et al.* Turning titanium metal matrix composites (Ti-MMCs) with carbide and CBN inserts. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 97, n. 1-4, p. 253-265, 2018.

NOVASKI, Olívio. **Introdução à engenharia de fabricação mecânica**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

OLIVEIRA, José Eduardo Ferreira de. **Desenvolvimento de um programa computacional para a integração de dados de projeto, fabricação e medição de peças torneadas com ênfase na síntese de tolerâncias dimensionais determinísticas**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

PEDRINI, Leonilson Toffoli. **Redução magnesiotérmica do óxido de titânio (TiO₂) com ativação por plasma de hidrogênio**. 2016. Dissertação (Mestrado em

Engenharia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Vitória, 2016.

PETERS, Manfred *et al.* Structure and properties of titanium and titanium alloys. In: LEYENS, Christoph; PETERS, Manfred (eds.). **Titanium and titanium alloys: Fundamentals and applications**. Capítulo 1. Wiley-VCH, Weinheim, 2003, p. 1-36.

PETROPOULOS, Georgios P.; PANDAZARAS, Constantinos N.; DAVIM, J. Paulo. Surface texture characterization and evaluation related to machining. In: DAVIM, J. Paulo *et al.* (eds.). **Surface Integrity in Machining**. Capítulo 2. London: Springer, 2010, p. 37-66.

SEYED PRIANKA B. ZAMAN; N. R. DHAR. Multi-objective Optimization of Double-Jet MQL System Parameters Meant for Enhancing the Turning Performance of Ti–6Al–4V Alloy. **Arabian Journal for Science and Engineering**, Published: 05 August 2020.

RORABACHER, David B. Statistical treatment for rejection of deviant values: critical values of Dixon's "Q" parameter and related subrange ratios at the 95% confidence level. **Analytical Chemistry**, v. 63, n. 2, p. 139-146, 1991.

S. LAKSHMANAN, et al. Optimization of turning parameter on surface roughness, cutting force and temperature through TOPSIS. **Materialstoday: PROCEEDINGS**, Volume 72, Part 4, 2023, Pages 2231-2237.

SAHOO, Sarthak Prasad; DATTA, Saurav. Dry, MQL, and nanofluid MQL machining of Ti–6Al–4V using uncoated WC–Co insert: Application of jatropha oil as base cutting fluid and graphene nanoplatelets as additives. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 45, n. 11, p. 9599-9618, 2020.

SANDVIK. **Encontre o caminho para ser mais competitivo no torneamento de aços**. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt>. Acesso em: 28 ago. 2023.

SANDVIK. **Qual é o seu desafio de manufatura?** Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt>. Acesso em: 31 ago. 2023.

SHAPIRO, Samuel Sanford; WILK, Martin B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, dez. 1965.

SHEKIN, David J. **Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures**. 3. ed. Florida: CRC Press Llc., 2003.

TELLES, Fabio. **Avaliação da rugosidade no torneamento de acabamento em titânio comercialmente puro grau 4 sob uma perspectiva de usinagem ambientalmente amigável**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

THOMPSON, Patrick W. Understanding sampling distributions and margin of error. **Anais...** 2nd Conference on Statistics Reasoning, Teaching, and Literacy. Arizona State University, jan. 2001.

WANG, Shu-Huei. **Investigation into the grinding of Titanium alloys**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de Crainfield, Inglaterra, 2000.

SAMARJIT SWAIN, et al. Machinability performance investigation in CNC turning of Ti-6Al-4V alloy: Dry versus iron-aluminium oil coupled MQL machining comparison. **International Journal of Lightweight Materials and Manufacture**. Volume 5, Issue 4, December 2022, Pages 496-509.

ANEXO A – CERTIFICADO DE QUALIDADE DA LIGA (Ti-6Al-4V)

ANEXO - 1



Empresa Certificada:
ISO 13485
ISO 9001
AS 9120



CERTIFICADO DE QUALIDADE

Nº Certificado: 2080/2021 Nota Fiscal: 13550 N Pedido: 8526 N Pedido Cliente: Email 03/09/2021 Data: 08/09/2021
Nº Certificado de Origem: 80004890/5500 Cliente: GEORGE MARINHO DO NASCIMENTO Peso: 2,64 Corrida: T2008829A

Dados do Material	
Material	Especificação
Barra de Titânio 6Al4V diâmetro 55,00mm	ASTM B348 GR5
Tratamento Térmico	Observação
RECOZIDO	
Comprimento	Acabamento
2.602,667 mm	RETIFICADO
Composição Química	
% C	% Ti
0,0100 %	88,6728 %
% V	% H
4,1600 %	0,0012 %
% Fe	% O
0,2300 %	0,1600 %
Propriedades Mecânicas	
Lim. Resistência a Tração / Tensile Strength	Limite de Escoamento / Yield Strength (MPa)
970,000 MPa	903,000 MPa
Red. de Área / Reduction In area (%)	
42,00 %	

Observações
Alguns dados foram extraídos do certificado de origem do fabricante da matéria prima.

Departamento de Garantia da Qualidade
LUCIANO SANTOS

Acnis do Brasil
Av. Iporanga, 340 - Galpão 3 - Ronda Grande - Eden - Sorocaba - SP - Brasil - CEP 18085-602 - 55 15 3225.4044 - 55 15 3325.5940
Site: www.acnisdobrasil.com.br

ANEXO B – FISPQ DO GÁS ARGÔNIO (WHITE MARTINS)

ANEXO - 2



Produto: ARGÔNIO, Comprimido
Revisado: 12/08/2013

Ficha de Informações de
Segurança de Produtos Químicos
FISPQ nº: P-4563-I
Página 1 de 12

1 – Identificação do produto e da empresa

Produto: ARGÔNIO, COMPRIMIDO

Código do Produto: P-4563-I

Nome(s) Comercial(s): Argônio comprimido

Principais usos recomendados: Uso industrial. Realizar uma avaliação de risco antes do uso.

Empresa: White Martins Gases Industriais Ltda
Av. das Américas, 3434 Bl. 7/G.601 – Barra da Tijuca – Rio de Janeiro/RJ
CEP: 22640-102

Site: www.whitemartins.com.br

Telefone de Emergência: 0800 709 9003

Para maiores informações de rotina consulte o fornecedor White Martins mais próximo.

2 – Identificação de perigos

- Classificação da substância ou mistura: Gases sob pressão – Gases comprimidos – Atenção (H280)

- Elementos de rotulagem do GHS, incluindo as frases de precaução:

- Pictogramas:



- Palavra de advertência: Atenção

- Frase de perigo: H280: Contém gás sob pressão; risco de explosão sob a ação do calor.

- Frase de Precaução:

- Armazenamento: P403: Armazene em local bem ventilado.

- Outros Perigos que não resultam em classificação:

- Asfixiante a altas concentrações
- Pode causar sufocamento rápido.
- Pode causar vertigem e sonolência.
- Equipamento autônomo de respiração pode ser necessário para a equipe de salvamento.

3 – Composição e informações sobre os ingredientes

- Substância ou mistura: Substância

- Nome Químico: Argônio

- Concentração: 99,0% min



Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

Produto: ARGÔNIO, Comprimido
Revisado: 12/08/2013

FISPQ n.º: P-4563-I
Página 2 de 12

- **Sinônimo:** Argônio-40, Gás de proteção
- **Grupo Químico:** Gás raro
- **N.º CAS:** 7740-37-1
- **N.º CE:** 231-147-0
- **Nota:** Citado nos Anexos IV/ V do REACH, isentos de registro.

4 – Medidas de primeiros-socorros

- Medidas de primeiros-socorros

Inalação:

Asfixiante. Os efeitos são devidos a falta de Oxigênio. Concentrações moderadas pode causar dor de cabeça, sonolência, vertigem, excitação, excesso de salivação, vômitos e inconsciência. Remova a vítima para um local ventilado. Aplique respiração artificial se a vítima não estiver respirando. Se a respiração estiver difícil, uma pessoa qualificada deverá administrar Oxigênio. Chame um médico.

Contato com pele:

Molhe com água corrente. Se o desconforto persistir, chame um médico imediatamente.

Contato com os olhos:

Molhe com água corrente. As pálpebras devem ser mantidas abertas e distantes do globo ocular para assegurar que todas as superfícies sejam enxaguadas completamente. Se o desconforto persistir chame um médico, de preferência um oftalmologista.

Ingestão:

É uma maneira improvável de exposição. Este produto é um gás a pressão e temperatura normais.

- Proteção para o prestador de socorros:

Se houver suspeitas de que os vapores do produto podem estar presente, o socorrista deve usar um equipamento autônomo de respiração. Nenhuma ação deve ser tomada que envolva qualquer risco pessoal ou sem treinamento apropriado.

- Sintomas e efeitos mais importantes, agudos ou tardios

- Elevadas concentrações pode causar asfixia.
- Os sintomas podem incluir perda de conhecimento e motricidade.
- A vítima pode não ter percepção da asfixia.
- A falta de oxigênio pode levar a morte.

- Notas para o médico:

Este produto é inerte. Não há antídoto específico. O tratamento da superexposição deve ser dirigido para o controle dos sintomas e das condições clínicas.

5 – Medidas de combate a incêndio

- Meios de extinção apropriados:



Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

Produto: ARGÔNIO, Comprimido
Revisado: 12/08/2013

FISPQ n.º: P-4563-I
Página 3 de 12

O Argônio não é inflamável. Utilize extintores de CO₂, pó químico seco ou jatos de água em forma de neblina para o controle do fogo circundante. Evacue todo o pessoal da área de risco. Imediatamente resfrie os cilindros com jatos de água em forma de neblina, guardando uma distância segura. Então remova os cilindros para longe da área de fogo, se não houver risco. Equipamento autônomo de respiração pode ser necessário para resgate de trabalhadores no local. Antes de entrar nas áreas, especialmente as confinadas, verifique a atmosfera com um equipamento adequado (ex. Explosímetro).

- Meio de extinção não recomendados:

Se o cilindro estiver envolvido em fogo, não tente removê-lo. Eles podem se romper devido ao calor do fogo por aumento da pressão interna. Resfrie o cilindro até que o fogo diminua ao ponto de poder extingui-lo.

- Perigos específicos da substância:

- Gás asfixiante.
- Em caso grande vazamento do produto, haverá o deslocamento do ar ambiente.
- Os cilindros podem se romper devido ao calor do fogo.
- Nenhuma parte do recipiente deve estar sujeita a temperaturas maiores que 52 °C

- Medidas de proteção da equipe de combate a incêndio:

A Brigada de incêndio deve utilizar equipamento autônomo de respiração e roupa de proteção completa para combate a incêndio. Nenhuma ação deve ser tomada que envolva qualquer risco pessoal ou sem formação adequada. Remova as fontes de ignição se não apresentar riscos. Interrompa o fluxo de gás se isto não apresentar riscos, enquanto continue a resfriar com jatos de água os cilindros. Retire todos os cilindros da área de incêndio, se não houver riscos. Brigadas de incêndio locais devem estar cientes das características do produto. Antes de entrar nas áreas, especialmente as confinadas, verifique a atmosfera com um equipamento adequado (ex. Oxímetro).

6 – Medidas de Controle para Derramamento ou Vazamento

- Precauções pessoais, equipamento de proteção e procedimento de emergência:

- Para o pessoal que não faz parte dos serviços de emergência:

- Imediatamente retire-se da área de risco.
- Gás asfixiante. Desloca o ar do ambiente.

- Para o pessoal do serviço de emergência:

- Equipamento autônomo de respiração de pressão positiva e macacão retardante de chama pode ser necessário para entrar em áreas confinadas.
- Antes de entrar nas áreas, especialmente as confinadas, verifique a atmosfera com instrumento adequado (ex. explosímetro).
- Remova todas as fontes de ignição, se não houver risco.
- Reduza vapores com neblina ou jatos finos de água.
- Interrompa o vazamento se não apresentar riscos.
- Ventile a área do vazamento ou remova os recipientes com vazamento para área bem ventilada se não houver risco.

- Precauções ao meio ambiente:

- Previna para que o resíduo não contamine o ambiente.
- Mantenha o pessoal não autorizado distante da área de risco.
- Descarte qualquer produto, resíduo, recipiente ou invólucro de acordo com os Regulamentos Locais, Estaduais e Federais existentes.



Produto: ARGÔNIO, Comprimido
Revisado: 12/08/2013

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

FISPQ n.º: P-4563-I
Página 4 de 12

- Métodos e materiais para a contenção e limpeza:

- Ventile a área antes de iniciar o processo de limpeza.
- Mantenha o pessoal não autorizado distante da área de risco.
- Vagarosamente alivie o produto para atmosfera em local aberto.

7 – Manuseio e Armazenamento

- Precauções para manuseio seguro:

- Utilize o produto somente em áreas bem ventiladas.
- Manter afastado do calor, faíscas e chamas.
- Nunca aplique chama ou calor localizado diretamente ao cilindro.
- Proteja os cilindros contra danos físicos.
- Atarraxe firmemente o capacete com as mãos antes da movimentação do cilindro.
- Utilize em carrinho de cilindros para movimentá-los; não arraste, role ou deixe-o cair.
- O controle de vazamento deve ser realizado com água e sabão.
- Abra a válvula do cilindro o mínimo possível para garantir uma vazão aceitável a sua operação, isso vai permitir que você a feche tão rápido quanto possível em caso de emergência.
- Nunca tente levantar um cilindro pelo capacete; o capacete existe apenas proteger a válvula.
- Nunca insira qualquer objeto (ex. chave de boca, chave de fenda) dentro da abertura do capacete; isto pode causar dano a válvula, e conseqüentemente um vazamento.
- Use uma chave ajustável para remover capacetes apertados ou enferrujados.
- Abra a válvula lentamente. Se estiver muito dura, descontinue o uso e entre em contato com seu fornecedor.
- Não utilize o cilindro como parte de um circuito elétrico ou para formação de um arco elétrico.
- O efeito produzido por um arco elétrico na parede do cilindro poderá levá-lo a ruptura.
- Para outras precauções, veja seção 16.

- Prevenção da exposição do trabalhador:

- Utilizar EPI conforme descrito no item 8.
- Não comer, beber ou fumar durante o manuseio do produto.
- Lavar as mãos após manuseio deste produto antes de entrar em áreas de alimentação.

- Condições de armazenamento seguro, incluindo qualquer incompatibilidade:

- Armazene e use com ventilação adequada.
- Atarraxe firmemente o capacete com as mãos.
- Assegure-se de que os cilindros estejam fora de risco de queda ou da possibilidade de roubo.
- Não permita estocagem em temperaturas maiores que 52 °C (125 °F).
- Armazene separadamente os cilindros cheios dos vazios.
- Use um sistema de rodizio, para prevenir o estoque de cilindros cheios por longos períodos.

8 – Controle de Exposição e Proteção Individual

Nota: Veja a seção 16 para maiores informações sobre os perigos em caso de soldagem.

- Parâmetros de controle:

Limites de exposição ocupacional:



Produto: ARGÔNIO, Comprimido
Revisado: 12/08/2013

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

FISPQ n.º: P-4563-I
Página 5 de 12

Ingrediente	Limite de Exposição	
	NR-15	ACGIH (2013)
Argônio	Asfixiante simples	Asfixiante simples

IDLH = Não avaliado

Indicadores Biológicos: Não avaliado.

- Medidas de controle de engenharia:

Exaustão local: Use sistema de exaustão local, se necessário, para prevenir a deficiência de oxigênio na zona de respiração dos trabalhadores.

Mecânica (geral): Sob certas condições de trabalho, ventilação geral é recomendável para manter as concentrações de fumos e gases abaixo do estabelecido pelo valor limite de tolerância (TLV), medidos na zona de respiração dos trabalhadores.

Especiais: Não aplicável.

Outros: Não aplicável.

- Medidas de proteção pessoal:

Proteção dos olhos/face: Usar óculos de segurança com proteção lateral e lentes incolores para manuseio do cilindro. Em trabalhos de solda, use capacete com máscara e lentes com filtros especiais. Providencie telas protetoras e óculos de proteção se necessário.

Proteção da pele: Utilizar luvas de raspa para manuseio dos cilindros, sapato de segurança com biqueira de aço e protetor de metatarso, calça e camisa de manga longa de algodão. Em trabalhos de solda e corte, deve-se utilizar ainda os seguintes EPIs:

- Avental de raspa de couro;
- Perneira de raspa de couro;
- Protetor da cabeça;
- Luva de raspa para soldador;
- Calça e camisa de manga longa de algodão.

Proteção respiratória: Não requer em uso normal. Em trabalhos de solda e corte, utilize purificadores de ar ou respiradores com suprimento de ar que protejam dos fumos onde a exaustão ou ventilação local não mantiver a exposição abaixo do LT (TLV) na zona de respiração dos trabalhadores. Equipamento autônomo de ar com pressão positiva pode ser necessário quando o trabalho for realizado em locais confinados ou com deficiência de Oxigênio.

Perigos térmicos: Não é necessário para este produto.

9 – Propriedades Físico-Químicas

- **Aspecto:** Gás incolor

- **Odor:** Inodoro



Produto: ARGÔNIO, Comprimido
Revisado: 12/08/2013

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

FISPQ n.º: P-4563-I
Página 6 de 12

- pH: Não aplicável
- Ponto de fusão, a 10 psig (68,9 kPa): - 189,35 °C (- 308,83 °F)
- Ponto de ebulição, a 10 psig (68,9 kPa): - 185,87 °C (- 302,57 °F)
- Ponto de Fulgor (Método ou Norma): Não aplicável
- Taxa de evaporação: Não aplicável
- Limite de inflamabilidade no ar, % em volume:
 - Inferior: Não Aplicável
 - Superior: Não Aplicável
- Pressão de vapor (20 °C): Não aplicável
- Densidade do vapor (ar = 1): 1,38 a 21,1 °C (70 °F) a 1 atm
- Solubilidade em água, vol/vol: 0,056 cm³/cm³ a 0 °C (32 °F) e 1 atm
- Coeficiente de partição – n-octanol/água: 0,67
- Massa específica do vapor: 1,654 kg/m³ (0,103 lb/ft³) a 21,1 °C (70 °F) e 1 atm
- Temperatura de Auto-Ignição: Não Aplicável
- Temperatura de decomposição: Não Aplicável
- Viscosidade: Não aplicável
- Percentagem de Matéria Volátil em Volume: 100 %
- Peso molecular: 39,95
- Fórmula: Ar

10 – Estabilidade e Reatividade

- **Reatividade:** Sem reações perigosas, se armazenado e manuseado conforme indicado.
- **Estabilidade química:** Estável, se armazenado e manuseado conforme indicado.
- **Possibilidade de reações perigosas:** Sem reações perigosas, se armazenado e manuseado conforme indicado. Extremamente frio durante a expansão para pressão normal.
- **Condições a serem evitadas:** Temperaturas e pressões elevadas e/ou a presença de um catalisador.
- **Materiais incompatíveis:** Nenhum conhecido. O Argônio é quimicamente inerte.



Produto: ARGÔNIO, Comprimido
Revisado: 12/08/2013

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

FISPQ n.º: P-4563-I
Página 7 de 12

- **Produtos perigosos da decomposição:** Óxidos de Nitrogênio e Ozônio podem ser formados pela radiação do arco. Outros produtos de decomposição da operação normal, originam-se da volatilização, reação ou oxidação do material que está sendo trabalhado.

11 – Informações Toxicológicas

- **Toxicidade aguda:** A substância é inerte. Em concentrações muito elevadas no ar, o gás pode provocar dificuldade respiratória ou asfixia por deslocamento de oxigênio, podendo causar narcose.
- **Irritação da pele:** A substância é inerte. Não há dados disponíveis sobre os efeitos irritantes. A substância é um gás à temperatura e pressão ambiente.
- **Irritação ocular:** Não há dados disponíveis sobre efeitos irritantes.
- **Sensibilização respiratória ou à pele:** A substância é inerte. Não há dados disponíveis sobre os efeitos irritantes. A substância é um gás à temperatura e pressão ambiente.
- **Mutagenicidade em células germinativas:** Não há dados disponíveis sobre os efeitos mutagênicos. A substância é inerte. A estrutura química não sugere tal efeito.
- **Carcinogenicidade:** O Argônio não é considerado carcinogênico pelos órgãos NTP, OSHA e IARC.
- **Toxicidade à produção:** Não há dados disponíveis. A substância é inerte. A estrutura química não sugere tal efeito.
- **Toxicidade para órgãos – alvo específicos - exposição única:** Nenhum atualmente conhecido.
- **Toxicidade para órgãos – alvos específicos – exposição repetida:** As propriedades físicas, químicas e toxicológicas do Argônio sugerem ser improvável que a superexposição venha a agravar condições clínicas existentes.
- **Perigo por aspiração:** O Argônio é um asfixiante. A falta de oxigênio pode levar a morte.

12 – Informações Ecológicas

- **Ecotoxicidade:** Nenhum efeito adverso ecológico conhecido.
- **Persistência e degradabilidade:** Não disponível.
- **Potencial bioacumulativo:** Não disponível.
- **Mobilidade no solo:** O Argônio irá evaporar rapidamente para a atmosfera a partir da superfície da água.
- **Outros efeitos adversos:** Nenhum conhecido. Este produto não contém nenhum material químico das Classes I ou II (destruidores da camada de Ozônio).



Produto: ARGÔNIO, Comprimido
Revisado: 12/08/2013

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

FISPQ n.º: P-4563-I
Página 8 de 12

13 – Considerações sobre destinação final

- Método recomendados para destinação final:
- Não tente desfazer-se de resíduos ou quantidades não utilizadas.
- Devolva o cilindro ao seu fornecedor.
- No caso de emergência, mantenha o cilindro em local bem ventilado, então descarregue lentamente o gás para a atmosfera.

14 – Informações sobre transporte

- Regulamentações nacionais e internacionais
- TERRESTRES: AGENCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE (ANTT)
 - DECRETO 96044 - Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos.
 - RESOLUÇÃO 420 - Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento para o transporte Rodoviário de Produtos Perigosos.
 - NBR 7500 - Símbolos de risco e manuseio para o transporte e armazenamento de materiais.
- Número ONU: 1006
- Nome Adequado para Embarque: ARGÔNIO, COMPRIMIDO
- Classe/subclasse de risco principal e subsidiário 2,2
- Número de Risco: 20
- Grupo de embalagem: NA (Não aplicável)
- Perigo ao meio ambiente:
 - Esta substância não é considerada como poluente marinho pela ANTT.
 - Os cilindros devem ser transportados na **posição vertical**, em veículo com ventilação.
 - Cilindros transportados em veículo enclausurado, em compartimento não ventilado podem apresentar sérios riscos a segurança.
- Símbolo para o transporte terrestre, marítimo e aéreo:



2.2 – Gás Não Inflamável Não Tóxico

- MARÍTIMO (fluvial, lacustre): AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIO - ANTAQ
 - IMDG – International Maritime Dangerous Goods – Code



Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

Produto: ARGÔNIO, Comprimido
Revisado: 12/08/2013

FISPQ n.º P-4563-I
Página 9 de 12

- DPC – Diretoria de Portos e Costas do Ministério da Marinha – Norma-5
 - UN number: 1006
 - Proper shipping name: ARGON, COMPRESSED
 - Class or division: 2.2
 - Subsidiary risk: 20
 - Packing group: P200
 - Marine pollutant: No
-
- AÉREO: AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL - ANAC
 - ICAO-TI – International Civil Aviation Organization – Technical Instructions
 - IATA-DGR – International Air Transport Association – Dangerous Goods Regulations
 - ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil
 - Resolução n.º 129 de 08 de dezembro de 2009
 - RBAC n.º 175 – Regulamento Brasileiro da Aviação Civil para o Transporte de Artigos Perigosos em Aeronaves Civas.
 - IS n.º 175-001 – Instrução Suplementar - IS
 - UN number: 1006
 - Proper shipping name: ARGON, COMPRESSED
 - Class or division: 2.2
 - Subsidiary risk: 20
 - Packing group: P200
 - Marine pollutant: No
-
- Informações especiais para embarque:
 - Os recipientes devem ser transportados na **posição vertical**, em veículo onde o espaço da carga está separado e não tem contato com a cabine de condução.
 - Assegurar que o condutor do veículo tenha conhecimento dos riscos potenciais da carga bem como das medidas a tomar em caso de acidente ou emergência.
 - Antes de transportar os cilindros:
 - Verificar se os recipientes estão bem fixados.
 - Verificar se a válvula está fechada e se não tem vazamento.
 - Verificar se o compartimento de carga tem ventilação adequada.
 - O enchimento deste cilindro somente deverá ser realizado pela White Martins



Produto: ARGÔNIO, Comprimido
Revisado: 12/08/2013

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

FISPQ n.º: P-4563-I
Página 10 de 12

15 – Informações sobre regulamentações

O usuário deste produto é o único responsável pela obediência de todas as leis Federais, Estaduais e Locais aplicáveis a este produto.

- Regulamentações específicas de segurança, saúde e meio ambiente para o produto:

- Portaria 3214 – NR-15 – Anexo 11
- Lei 9605 – Lei de Crimes ambientais
- Norma ABNT NBR 14725-4:2012, Anexo A – Instruções para elaboração de uma FISPQ.

16 – Outras informações

- Assegure-se de ler e compreender todos os rótulos e outras instruções fornecidas em todos os recipientes deste produto.

- É proibido o enchimento de cilindros sem o consentimento do seu proprietário.

CUIDADOS ADICIONAIS A SEGURANÇA E SAÚDE:

Usar o Argônio em solda e corte pode criar riscos adicionais.

Fumos e gases podem ser perigosos a sua saúde e podem causar sérios danos ao pulmão. O valor limite de tolerância (TLV) recomendado é de 5 mg/m³ para fumos de solda não classificados, os quais podem ser produzidos durante soldagem com este produto.

- Mantenha a cabeça longe dos fumos. Não respire fumos ou gases. Use ventilação suficiente, exaustão local, ou ambos para manter fumos e gases longe da sua zona respiratória, e área em geral. A superexposição a fumos podem resultar em vertigem, náusea, secura ou irritação do nariz, garganta, e olhos, além de outros desconfortos similares.

Fumos e gases não pode ser simplesmente classificados. A composição de ambos depende do metal que está sendo trabalhado, do processo, procedimentos e eletrodos utilizados. Possivelmente, materiais perigosos podem ser encontrados em fundições, eletrodos e outros materiais. Requisite a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos para cada material em uso.

Contaminantes no ar podem adicionar perigosos aos fumos e gases. Contaminante como o vapor de hidrocarboneto clorado das atividades de limpeza, apresenta um sério risco.

- Não use arco elétrico em presença de vapores de hidrocarboneto clorado – fosgênicos altamente tóxicos podem ser produzidos.

Revestimentos do metal que estão trabalhados, assim como pintura, eletrogalvanização, ou galvanização, podem gerar fumos quando aquecidos. Resíduos de limpeza podem ser perigosos.

- Evite usar arcos voltaicos em partes com resíduo de Fosfato (antiferrugem, preparações de limpeza) – fosfina altamente tóxica pode ser produzida.

Para saber a quantidade de fumos e gases, você pode pegar o ar como amostra. Analisando essa mistura, pode ser determinada qual proteção respiratória deve ser utilizada. Um exemplo é pegar o ar de dentro do capacete do operário ou da zona de respiração. Para outras informações sobre práticas de segurança e



Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

Produto: ARGÔNIO, Comprimido
Revisado: 12/08/2013

FISPQ n.º: P-4563-I
Página 11 de 12

descrições mais detalhadas dos perigos na saúde em uso de solda e suas consequências, procure seu fornecedor de produtos de soldagem.

OBSERVAÇÕES PARA O MÉDICO:

- **AGUDA:** Gases, vapores e poeiras pode causar irritação nos olhos, pulmões, nariz e garganta. Alguns gases tóxicos associados com processos de soldagem e correlatos podem causar edema pulmonar, asfixia e morte. Superexposição aguda pode induzir sinais e sintomas, tais como: olhos lacrimejantes, irritação do nariz e garganta, dor de cabeça, vertigem, respiração difícil, tosse frequente ou dor no peito.

- **CRÔNICA:** Inalação prolongada de contaminantes do ar pode produzir acumulação destes nos pulmões, uma condição que pode ser vista como áreas densas no Raio-X do tórax. A gravidade da mudança é proporcional a duração da exposição. As modificações observadas não estão necessariamente associadas com sintomas ou sinais de doença ou redução da função pulmonar. Além disso, as modificações no Raio-X podem ser causadas por fatores não relacionados ao trabalho como o fumo, etc.

VESTIMENTAS E EQUIPAMENTOS PROTETORES PARA OPERAÇÕES DE SOLDA:

- **Luvas protetoras:** Use luvas específicas para atividades de solda.
- **Proteção dos olhos:** Use capacete com máscara e lentes com filtros especiais.
- **Outros equipamentos protetores:** Utilize proteção para a cabeça, mão e corpo. Assim, vai ajudar a prevenir danos produzidos pela radiação, faíscas e choques elétricos. Como proteção adicional use mangas compridas, avental, chapéus, protetores para os ombros, assim como uma vestimenta escura. Treine os operários para não tocar em partes elétricas ligadas.

OUTRAS CONDIÇÕES DE RISCO DURANTE O CARREGAMENTO, USO E ARMAZENAMENTO:

- **Gás a alta pressão.** Use tubulação e equipamento adequadamente projetados para resistirem às pressões que possam ser encontradas.
 - **Previna fluxo reverso.** Fluxo reverso no cilindro pode causar ruptura. Use válvula de segurança ou outro dispositivo em qualquer parte da linha ou tubulação do cilindro.
 - **Gás pode causar sufocamento rápido** em caso de deficiência de oxigênio. Armazene e utilize com ventilação adequada.
 - Feche a válvula após o uso; mantenha fechada mesmo quando o cilindro estiver vazio.
 - **Não atinja o cilindro com arco.** O defeito produzido pela queimadura de um arco pode levar o cilindro a ruptura.
 - **Nunca trabalhe em sistema pressurizado.** Se houver vazamento, feche a válvula do cilindro, ventile o sistema com vapor para um local seguro, de maneira que não prejudique o meio ambiente, em total obediência as regulamentações Federais, Estaduais e Locais, então repare o vazamento.
- **Nunca aterre um cilindro de gás comprimido ou permita que se torne parte de um circuito elétrico.**

MISTURAS:

- Quando dois ou mais gases, ou gases liquefeitos são misturados, suas propriedades perigosas podem se combinar e criar riscos inesperados e adicionais.
- Obtenha e avalie as informações de segurança de cada componente antes de produzir a mistura.
- Consulte um especialista ou outra pessoa capacitada quando fizer a avaliação de segurança do produto final.

POR MEDIDA DE SEGURANÇA É PROIBIDO O TRANSVAZAMENTO DESTES PRODUTOS DE UM CILINDRO PARA OUTRO.



Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

Produto: ARGÔNIO, Comprimido
Revisado: 12/08/2013

FISPQ n.º: P-4563-I
Página 12 de 12

PARA O TRANSPORTE DESTES RECIPIENTES O MESMO DEVERÁ SER FIXADO NA POSIÇÃO VERTICAL.

CLASSIFICAÇÃO NFPA:

Saúde: 0
Inflamabilidade: 0
Instabilidade: 0
Especial: **Asfixiante Simples**

Abreviaturas:

PEL Permissible Exposure Limit
STEL Short Term Exposure Limit
TLV Threshold Limit Value
LT Limite de Tolerância

Referências bibliográficas:

- ACGIH – AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS
- DOT – DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
- HSDB – HAZARDOUS SUBSTANCES DATA BANK
- IARC – INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER
- NIOSH – NATIONAL INSTITUTE OF OCCUPATIONAL AND SAFETY
- NTP – NATIONAL TOXICOLOGY PROGRAM
- OSHA – OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION
- MSDS – P4563-I – ARGÔNIO, COMPRIMIDO – PRAXAIR INC.

A White Martins recomenda que todos os seus funcionários, usuários e clientes deste produto estudem detidamente esta ficha de dados a fim de ficarem cientes da eventual possibilidade de riscos relacionados ao mesmo. No interesse da segurança deve-se:

- 1) Notificar todos os funcionários, usuários e clientes acerca das informações incluídas nestas folhas e fornecer um ou mais exemplares a cada um;
- 2) Solicitar aos seus clientes que também informem aos seus respectivos funcionários e clientes e, assim, sucessivamente.

ANEXO C – CATÁLOGO INCERTO RCTM 16 06 MP-L3 S205 (SANDVIK)

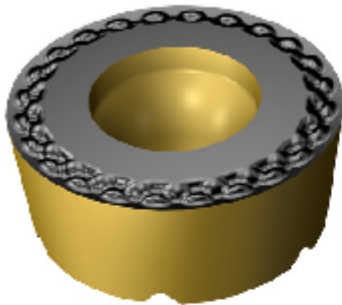
28/06/2022 10:47

ANEXO - 3

RCMT 16 06 MP-L3 S205



Iniciar > Ferramentas > CoroTurn 107 > RCMT 16 06 MP-L3 S205



Representação genérica

RCMT 16 06 MP-L3 S205

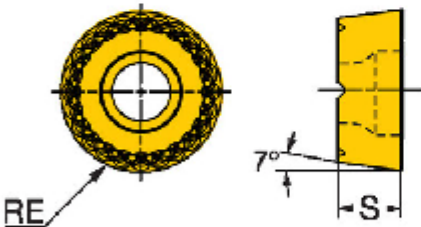
CoroTurn® 107 insert with rail for turning

Em estoque

ISO: RCMT 16 06 MP-L3 S205	EAN: 7323225559713
Id do material: 7968962	ANSI: RCMT 16 06 MP-L3 S205
Quantidade do pacote: 10	

Valores iniciais

S	ap 1.2 mm(0.4-3.2)
	fn 0.46 mm/r(0.19-0.76)
	vc 80 m/min(105-65)



Representação genérica

Dados do produto

Classificação de materiais nível 1(TMC1ISO)	S
Tipo de operação(CTPT)	Finishing
Código de montagem da pastilha(IFS)	3
Formato e tamanho da pastilha(CUTINTSIZESHAPE)	Rail interface RC1606MP
Número de arestas de corte(CEDC)	6
Diâmetro do círculo inscrito(IC)	16 mm

[https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/products/pages/productdetails.aspx?c=RCMT 16 06 MP-L3 S205](https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/products/pages/productdetails.aspx?c=RCMT+16+06+MP-L3+S205)

28/06/2022 10:47

RCMT 16 06 MP-L3 S205

Código do formato da pastilha(SC)	R
Raio do canto(RE)	8 mm
Propriedade da aresta Wiper(WEP)	false
Sentido(HAND)	N
Classe(GRADE)	S205
Substrato(SUBSTRATE)	HC
Cobertura(COATING)	CVD TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN
CVD - Cobertura com Carbono amorfo com características físico-químicas semelhantes ao diamante	
Espessura da pastilha(S)	6,35 mm
Ângulo de folga principal(AN)	7 deg
Sensor embedded property(SEP)	0
Peso do item(WT)	0,015 kg
Release date(ValFrom20)	2021-05-06

ANEXO D – CATÁLOGO PORTA FERRAMENTAS PRGCR2525M 16 (SANDVIK)

28/06/2022 10:49

ANEXO - 4

PRGCR 2525M 16



[Iniciar](#) > [Ferramentas](#) > [T-Max P](#) > PRGCR 2525M 16



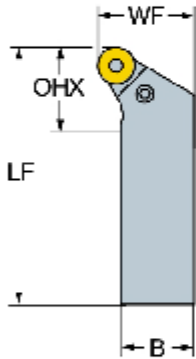
PRGCR 2525M 16

Porta Ferramenta convencional T-Max® P para torneamento

[Ver disponibilidade](#)

ISO: PRGCR 2525M 16	EAN: 10329045
Id do material: 5738289	ANSI: PRGCR 2525M 16
Quantidade do pacote: 1	

Representação específica



Representação genérica

Dados do produto

Código do tipo de fixação(MTP)	P
Parte 2 dos identificadores da interface da pastilha(CUTINTMASTER)	metric RCMX 160600
Direção da interface de adaptação da máquina(ADINTMS)	Rectangular shank -metric: 25 x 25
Ângulo máximo de usinagem em rampa(RMPX)	27 deg
Ângulo do corpo da ferramenta em relação à peça(BAWS)	0 deg
Ângulo do corpo da ferramenta em relação à máquina(BAMS)	0 deg
Balanço máximo(OHX)	27,2 mm
Sentido(HAND)	R
Propriedade antivibração(DPC)	false

28/06/2022 10:49

PRGCR 2525M 16

Código para tipo entrada da refrigeração(CNSC)	0: without coolant
Tipo código de saída de refrigeração(CXSC)	0: no coolant exit
Largura da haste(B)	25 mm
Altura da haste(H)	25 mm
Comprimento funcional(LF)	150 mm
Largura funcional(WF)	32 mm
Altura funcional(HF)	25 mm
Ângulo de saída ortogonal(GAMO)	0 deg
Ângulo de inclinação(LAMS)	0 deg
Torque(TQ)	4 Nm
Código do material do corpo(BMC)	Aços
Identificação da pastilha padrão(MIIDM)	RCMX 16 06 00
Peso do item(WT)	0,682 kg
Sensor embedded property(SEP)	0
Release date(ValFrom20)	1975-01-27

ANEXO E - FISPQ FLUÍDO DE CORTE BIO 100 E (BQL)

ANEXO - 5



FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS

1- IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA:

Nome do Produto: BIO 100 E
Código Interno: BIO 100 E
Nome da Empresa: Biolub Química Ltda
Endereço: Rua Ondina Senger Moreira, 70
Bairro: Iporanga
Cidade / Estado: Sorocaba/SP
CEP: 18087-133
Telefone: (15) 3335-3030
Telefone Emergência: (15) 3335-3030
Fax: (15) 3335-3031
E-mail: biolub@biolub.com.br

2 – IDENTIFICAÇÃO DE PERIGO:

Perigos mais importantes

Tóxico por ingestão e inalação

Efeitos do produto:

Efeitos adversos à saúde humana: Produto tóxico por ingestão. Pode causar sensibilização em contato com a pele. Quando inalado pode causar irritação nas mucosas e vias respiratórias.

Efeitos ambientais: Tóxico para organismos aquáticos. Em grandes quantidades é poluente de rios e lagos.

3- COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE OS INGREDIENTES:

Esse produto é uma mistura

Natureza química do produto: Óleo Solúvel Sintético

Ingredientes que contribuem para o perigo:

Componente	Concentração	CAS	Classificação
1,3,5 Triazina-	< 4%	4719-04-4	R22, R43, S2, S24/25, S26
1,3,5 Trietanol			

Produto: BIO 100 E
 FISPQ nº 076_012
 REVISÃO: 02

Página 1/5
 Data: 03/09/2012



FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS

4 - MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS:

Contato com a pele:	Remover roupas contaminadas. Não apalpar nem friccionar as partes atingidas. Lavar com água corrente abundante. Chamar/encaminhar ao médico se necessário.
Contato com os olhos:	Não friccionar. Remova lentes de contato se tiver. Lavar com água corrente por no mínimo 15 minutos. Encaminhar ao oftalmologista.
Ingestão:	Não provoque o vômito. Dar água a vítima para diluir o efeito tóxico. Não fornecer líquido ou induzir vômito em vítima inconsciente ou em convulsão. Chamar/encaminhar ao médico.
Ações que devem ser evitadas:	Não administrar nada oralmente ou provocar o vômito em vítima inconsciente ou em convulsão. Não limpar partes do corpo com solventes. Proteção do prestador de socorro e/ou notas para o médico: Realizar lavagem gástrica de forma cautelosa evitando a aspiração dos produtos para as vias aéreas.

5 - MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO:

Meios de extinção apropriados:	CO ₂ , espuma para hidrocarbonetos, pó químico.
Perigos específicos no combate:	Evacue a área e combata o fogo a uma distância segura. Usar água em forma de neblina para resfriar equipamentos expostos na proximidade do fogo.
Equipamentos para proteção de bombeiros/brigadistas:	Utilizar aparelhos de proteção de respiração independente do ar ambiente e roupas de aproximação a temperaturas elevadas.

6 - MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO:

Precauções pessoais:	Vestir equipamento de proteção pessoal. Colocar as pessoas em segurança. Evitar contato com olhos e pele. Evitar inalação de névoas / vapores. Evite o contato direto com o líquido. Reduza os vapores usando água em spray.
-----------------------------	--

Produto: BIO 100 E
FISPQ nº 076_012
REVISÃO: 02

Página 2/5
Data: 03/09/2012



FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS

Remoção de fonte de ignição:	Eliminar fontes quentes de ignição.
Controle de poeira:	N.A.
Métodos para limpeza e neutralização:	Recupere o produto com serragem e remova o solo contaminado destinando-os para o tratamento final, incineração ou aterramento de acordo com a regulamentação regional.

7 - MANUSEIO E ARMAZENAMENTO:

Precaução para manuseio seguro:	Manuseie de acordo com a higiene industrial e prática de segurança.
Medidas adequadas de armazenamento:	Local ventilado, evitar exposição ao sol, chuva ou temperaturas elevadas.

8 - CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL:

Equipamento de proteção individual apropriado:

Medidas de controle de engenharia:	Manter local de trabalho ventilado. Em ambientes abertos e manobras posicionar-se a favor do vento.
Equipamento de Proteção Individual:	No caso de utilização conforme descrita no item 7 (Manuseio e Armazenamento), não são necessários Equipamentos de Proteção Individual. Para as situações ocupacionais onde o trabalhador manipule grandes quantidades do produto, utilizar: luvas para produtos químicos, avental e óculos protetores, com a finalidade de evitar o contato dérmico e ocular. A proteção respiratória deverá ser realizada dependendo da concentração presente no ambiente, e para tanto deverá se optar por máscaras semifaciais ou faciais próprias para vapores orgânicos.
Medidas de higiene:	Bons procedimentos operacionais e de higiene industrial ajudam a reduzir os riscos no manuseio de produtos químicos. Lavar as mãos antes de ir ao banheiro comer ou beber.



FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS

9 - PROPRIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS:

Estado físico:	Líquido
Cor:	Amarelo esverdeado
Solubilidade:	100% solúvel em água
Densidade:	1,04 g/cm ³
pH (solução 5% em água):	9,5
Fator de Refração:	4,34
Corrosão (Fe e não ferrosos) 0/0 1%:	

10 - ESTABILIDADE E REATIVIDADE:

Condições específicas:

Instabilidade:	Produto estável. Não ocorre polimerização.
Reações perigosas:	Reage com produtos químicos fortes oxidantes (Cloratos, peróxidos, ácidos e outros).
Condições a evitar:	Fontes de calor.

11 - INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS:

Toxicidade Aguda:	1,3,5-triazina-1,3,5-trietanol= LD50 Oral ratos > 2850 mg/kg
--------------------------	--

12 - INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS:

Produto tóxico a vida aquática. No solo o produto poderá contaminar o lençol freático.

13 – CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO:

Produto:	O tratamento e disposição do produto devem ser avaliados tecnicamente, caso a caso.
Resíduo do produto:	Incineração ou aterramento de acordo com a regulamentação regional.
Embalagem usada:	Não reutilizar.



FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS

14 – INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE

Regulamentações internacionais:	Este produto é considerado não perigoso para o transporte terrestre, marítimo e aéreo de acordo com os respectivos regulamentos (ADR, IMDG, IATA – DGR).
Regulamentação Nacional:	Este produto é considerado não perigoso para o transporte de acordo com a resolução 420 da ANTT de 12/02/2004.

15 – REGULAMENTAÇÕES

Frases de risco:	R22 - Nocivo por ingestão R43 – Pode causar irritação dérmica.
Frases de segurança:	S2- Manter fora do alcance das crianças. S24/25- Evitar o contacto com a pele e os olhos. S26- Em caso de contacto com os olhos, lavar imediata e abundantemente com água e consultar um especialista.

16 – OUTRAS INFORMAÇÕES:

Informações importantes, mas não especificamente descritas às seções anteriores.

Esta FISPQ foi elaborada baseada nos conhecimentos atuais do produto químico e fornece informações quanto à proteção, à segurança, à saúde e ao meio ambiente.

Adverte-se que o manuseio de qualquer substância química requer o conhecimento prévio de seus perigos pelo usuário. Cabe à empresa usuária do produto promover o treinamento de seus empregados e contratados quanto aos possíveis riscos advindos do produto.

Bibliografia:

[ACGIH] AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. Disponível em: <http://acqih.org/TLV/>. Acesso em: Julho de 2012.

CETESB. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: Julho de 2012.