

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ  
GUILHERME MONTEIRO DE ANDRADE**

**A INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CORTE NA  
FURAÇÃO DAS PLACAS DE TITÂNIO E ALUMÍNIO**

**Taubaté - SP  
2018**

**GUILHERME MONTEIRO DE ANDRADE**

**A INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CORTE NA  
FURAÇÃO DAS PLACAS DE TITÂNIO E ALUMÍNIO**

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Certificado de Graduação do  
curso de Engenharia Mecânica do  
Departamento de Engenharia Mecânica  
da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Me. Fábio Henrique  
Fonseca Santejani

Coorientador: Prof. Me. Ivair Alves dos  
Santos

**Taubaté – SP**

**2018**

**SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

A553i     Andrade, Guilherme Monteiro de  
            A influência dos parâmetros de corte na furação das placas de titânio e  
            alumínio / Guilherme Monteiro de Andrade. -- 2018.  
            80 f. : il.

            Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de  
            Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.  
            Orientação: Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani, Departamento  
            de Engenharia Mecânica.

            1. Alumínio/Titânio. 2. Furação. 3. Indústria aeronáutica. 4. Qualidade.  
            5. Parâmetros de Corte. I. Título. II. Graduação em Engenharia Mecânica.

CDD – 629.13

GUILHERME MONTEIRO DE ANDRADE

A INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CORTE NA FURAÇÃO DAS PLACAS DE  
TITÂNIO E ALUMÍNIO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE GRADUADO EM  
ENGENHARIA MECÂNICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



---

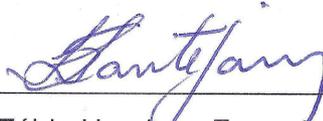
Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani  
Coordenador de Trabalho de Graduação

**BANCA EXAMINADORA:**



---

Prof. Me. Ivair Alves dos Santos  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Me. José Carlos Sávio Souza  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani e ao Prof. Me. Ivair Alves dos Santos pela orientação, ajuda e todo conhecimento passado não só durante este trabalho, mas durante meus anos de aprendizado na Universidade de Taubaté.

Ao Daniel Reketis, especialista em ferramentas rotativas sólidas da empresa Sandvik Coromant do Brasil, pelos ensinamentos nos processos de usinagem, em especial o de furação.

Ao Sérgio Rodrigues, programador da empresa Sandvik Coromant do Brasil, por dispor do seu tempo e conhecimento na preparação e execução dos testes.

A Empresa Sandvik Coromant do Brasil, que foi essencial para que este trabalho pudesse ser realizado. Agradeço pela oportunidade de estágio e por disponibilizar seus equipamentos, pessoas e conhecimento técnico.

## RESUMO

A Indústria Aeronáutica vem evoluindo nos seus processos de fabricação e busca constantemente aumentar sua produtividade e diminuir o custo final de seus produtos. A furação de ligas de Titânio e Alumínio abordadas nesse trabalho, representam uma porcentagem significativa da matéria prima utilizada na fabricação de uma aeronave atualmente, elas apresentarem um alto nível de complexidade de usinagem, especialmente em circunstâncias em que as matérias primas estão sobrepostas durante o processo de furação.

Um dos maiores desafios dessa área é a busca dos engenheiros em alinhar uma usinagem eficiente com a rigorosa qualidade necessária do segmento aeronáutico.

O objetivo desse trabalho é analisar a influência dos parâmetros de corte na qualidade final dos furos, avaliando os quesitos de desempenho, desgaste de ferramenta e repetitividade do diâmetro. Para atingir esse objetivo foram realizados testes experimentais utilizando ferramentas de metal duro de uma única geometria na furação dos materiais Titânio e Alumínio.

Os resultados expostos no final do trabalho indicam os parâmetros de corte mais adequados para as condições apresentadas. Em termos de tomada de decisão foi levado em consideração primeiramente os melhores índices de qualidade obtidos, seguidos então da avaliação do desempenho e desgaste de ferramenta.

**Palavras-chave:** Indústria aeronáutica; Furação; Parâmetros de Corte; Qualidade; Alumínio; Titânio

## **ABSTRACT**

The Aerospace Industry has been evolving in its manufacturing processes and is constantly seeking to increase its productivity and decrease the final cost of its products. The drilling process of titanium and aluminum alloys discussed in this work represents a significant percentage of the raw material used to manufacture of an aircraft currently, they present a high level of machining complexity, especially in circumstances where the raw materials are overlaid during the drilling process.

One of the biggest challenges in this area for engineers' is to align an efficient machining with the strict quality required in the aeronautical segment.

The objective of this work is to analyze the influence of the cutting parameters on the final quality of the holes, evaluating the performance, tool wear and diameter repeatability. In order to achieve this objective, experimental tests were performed using a single geometry of carbide tools in the drilling process of titanium and aluminum.

The results exposed at the end of the thesis indicate the most suitable cutting data for the presented conditions. In terms of decision making, the first aspect to be considered were best quality indexes, followed with the performance evaluation and tool wear.

**KEYWORDS:** Aerospace Industry; Drilling; Cutting Data; Quality; Aluminium; Titanium

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EXEMPLO DE FURAÇÃO HELICOIDAL COM PASTILHAS INTERCAMBIÁVEIS.....	14
FIGURA 2 - TIPOS DE MÉTODOS DE FURAÇÃO .....	15
FIGURA 3 - TIPOS DE FUROS .....	16
FIGURA 4 – DETALHES E NOMENCLATURA DA PONTA DE UMA BROCA.....	17
FIGURA 5 – DETALHES E NOMENCLATURA DO CORPO DE UMA BROCA.....	18
FIGURA 6 – PARÂMETROS DE CORTE .....	19
FIGURA 7 – VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE CORTE.....	20
FIGURA 8 – TIPOS DE METAL DURO MAIS UTILIZADOS .....	22
FIGURA 9 – TIPOS DE METAL DURO MAIS UTILIZADOS PARA FERRAMENTAS ROTATIVAS SÓLIDAS .....	23
FIGURA 10 – DESGASTE DE FLANCO NA ARESTA PRINCIPAL E NA FASE CIRCULAR.....	26
FIGURA 11 – DESGASTE DE FLANCO NA ARESTA TRANSVERSAL .....	27
FIGURA 12 – LASCAMENTO NA PERIFERIA E NA ARESTA PRINCIPAL.....	27
FIGURA 13 – BROCA QUEBRADA .....	28
FIGURA 14 – ARESTA POSTIÇA FORMADA NA ARESTA DE CORTE .....	28
FIGURA 15 – PORCENTAGEM DE MATERIAIS USADOS NO BOING 787.....	29
FIGURA 16 – ÍNDICES DE CP (PCR) .....	33
FIGURA 17 – ÍNDICES DE CPk (PCRk).....	34
FIGURA 18 – MONTAGEM DAS PLACAS DE ALUMÍNIO E TITÂNIO.....	35
FIGURA 19 – CENTRO DE USINAGEM ROMI D800.....	36
FIGURA 20 – DIMENSÕES DA FERRAMENTA DE CORTE .....	37
FIGURA 21 – PONTA DA FERRAMENTA DE CORTE DE GEOMETRIA 30MD.....	38
FIGURA 22 – MONTAGEM DA FERRAMENTA .....	39
FIGURA 23 – SISTEMA DE MEDIÇÃO .....	40
FIGURA 24 – PONTOS DE MEDIÇÃO .....	41
FIGURA 25 – REGIÕES DE CORTE NO CORPO DE PROVA.....	43
FIGURA 26 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #1 ...	45
FIGURA 27 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #1.....	45
FIGURA 28 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #1.....	46
FIGURA 29 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #2 ...	48

FIGURA 30 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #2.....	48
FIGURA 31 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #2.....	49
FIGURA 32 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #3...51	
FIGURA 33 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #3.....	51
FIGURA 34 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #3.....	52
FIGURA 35 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #4...54	
FIGURA 36 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #4.....	54
FIGURA 37 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #4.....	55
FIGURA 38 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #5...57	
FIGURA 39 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #5.....	57
FIGURA 40 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #5.....	58
FIGURA 41 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #6...60	
FIGURA 42 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #6.....	60
FIGURA 43 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #6.....	61
FIGURA 44 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #7...63	
FIGURA 45 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #7.....	63
FIGURA 46 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #7.....	64
FIGURA 47 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #8...66	
FIGURA 48 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #8.....	66
FIGURA 49 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #8.....	67
FIGURA 50 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #9...69	
FIGURA 51 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #9.....	69
FIGURA 52 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #9.....	70
FIGURA 53 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....	76

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VELOCIDADES DE CORTE ESCOLHIDAS PARA O TESTE.....	42
TABELA 2 – AVANÇOS ESCOLHIDOS PARA O TESTE.....	42
TABELA 3 – PARÂMETROS DE CORTE DOS TESTES.....	43
TABELA 4 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #1 .....	44
TABELA 5 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #2 .....	47
TABELA 6 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #3 .....	50
TABELA 7 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #4 .....	53
TABELA 8 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #5 .....	56
TABELA 9 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #6 .....	59
TABELA 10 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #7 .....	62
TABELA 11 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #8 .....	65
TABELA 12 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #9 .....	68
TABELA 13 – COMPARAÇÃO DA PERFORMANCE DOS TESTES .....	71
TABELA 14 – COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DOS TESTES.....	72
TABELA 15 – COMPARAÇÃO DO DESGASTE DE FERRAMENTA DOS TESTES	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OAL	Comprimento total
OHX	Balanço máximo
LCF	Comprimento do canal do cavaco
LU	Comprimento utilizável
DMM	Diâmetro da haste
FHA	Ângulo da hélice do canal
PL	Comprimento da ponta
DC	Diâmetro de corte
SIG	Ângulo da ponta
DC	Diâmetro da broca
CP	Índice de capacidade
PCR	Sigla em inglês do índice de capacidade
CPk	Índice de capacidade K
PCRk	Sigla em inglês do índice de capacidade K
USL	Limite Superior
LSL	Limite Inferior

## LISTA DE SÍMBOLOS

$n$	Velocidade do fuso
$V_c$	Velocidade de corte
$F_n$	Avanço por rotação
$V_f$	Taxa de penetração
$\sigma$	Desvio Padrão
$\mu$	Dimensão Nominal

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 OBJETIVOS GERAIS .....	13
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1 PROCESSO DE FURAÇÃO .....	14
2.1.1 TIPOS DE FURAÇÃO .....	15
2.1.2 GEOMETRIA DA FERRAMENTA .....	17
2.1.3 PARÂMETROS DE CORTE.....	19
2.1.4 METAL DURO.....	22
2.1.5 FLUÍDOS DE CORTE .....	24
2.1.7 DESGASTE E AVARIAS EM BROCAS .....	26
2.2 FURAÇÃO NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA .....	29
2.2.1 DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS .....	30
2.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO.....	32
2.3.1 ÍNDICES DE CAPABILIDADE .....	32
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
3.1 MATERIAIS .....	35
3.2 MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS.....	36
3.3 FERRAMENTA.....	37
3.4 REFRIGERAÇÃO.....	38
3.5 MONTAGEM DA FERRAMENTA .....	39
3.6 SISTEMA DE MEDIÇÃO .....	40
3.7 METODOLOGIA E PARÂMETROS.....	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
4.1 RESULTADO DO TESTE 1 .....	44
4.2 RESULTADO DO TESTE 2 .....	47
4.3 RESULTADO DO TESTE 3 .....	50
4.4 RESULTADO DO TESTE 4 .....	53
4.5 RESULTADO DO TESTE 5 .....	56
4.6 RESULTADO DO TESTE 6 .....	59
4.7 RESULTADO DO TESTE 7 .....	62
4.8 RESULTADO DO TESTE 8 .....	65
4.9 RESULTADO DO TESTE 9 .....	68
4.10 DISCUSSÃO DA PERFORMANCE .....	71
4.11 DISCUSSÃO DA QUALIDADE.....	72
4.12 DISCUSSÃO DO DESGASTE.....	74
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>76</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Indústria Aeronáutica vem se desenvolvendo e evoluindo nos processos de usinagem em geral, implementando melhorias nos processos de fresamento, torneamento, trepanação, cortes e canais e furação. Procurando constantemente aumentar sua produtividade e diminuir o custo final de seus produtos, e como consequência melhorar sua competitividade no mercado.

A furação de ligas de Titânio e Alumínio, que serão abordados nesse trabalho, representam uma porcentagem significativa da matéria prima utilizada na fabricação de uma aeronave atualmente, esses materiais são utilizados na fabricação de diversas peças do ramo aeronáutico, como pilones, asa e fuselagem, incluindo nesses sub-produtos suas respectivas nervuras, longarinas, revestimentos e outras peças estruturais.

Esses materiais específicos, Titânio e Alumínio, foram escolhidos para este trabalho pelo fato de serem largamente utilizados nesse ramo da indústria e apresentarem um alto nível de complexidade de usinagem, especialmente em circunstâncias em que as matérias primas estão sobrepostas durante o processo de furação.

Um dos maiores desafios dessa área é a incessante busca dos engenheiros em alinhar uma usinagem eficaz e eficiente com a rigorosa qualidade necessária do segmento aeronáutico. Um dos grandes problemas encontrados nessa concordância ideal entre qualidade e produtividade, é a alteração dos parâmetros de corte, que influencia diretamente nesses dois aspectos.

Parâmetros baseados em avanços e rotações agressivas podem alcançar a tão desejada produtividade, mas em contrapartida pode influenciar negativamente a qualidade, diminuir a vida útil da ferramenta e em casos extremos a quebra da mesma (AB SANDVIK COROMANT ACADEMY, 1994).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo desse trabalho é analisar a influência dos parâmetros de corte de uma única geometria de ferramenta na qualidade final dos furos, avaliando o diâmetro e aspectos visuais dos furos usinados.

Para alcançar esse objetivo, os parâmetros serão divididos em dois níveis (do mais lento ao mais agressivo), utilizando uma geometria da ferramenta desenvolvida para furação de multi-materiais.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

O objetivo específico do experimento será encontrar os parâmetros ideais para aplicação em pacotes de Alumínio e Titânio, identificar a influência dos parâmetros de corte na qualidade, no desgaste e/ou falha prematura da ferramenta e contribuir para um aumento de produtividade.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em capítulos e subcapítulos.

No capítulo 1, são expostos a justificativa do estudo, o escopo do trabalho, os objetivos gerais, objetivos específicos e organização do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre o processo de furação, furação na indústria aeronáutica e controle estatístico do processo.

O capítulo 3 explica e apresenta os materiais e métodos adotados na pesquisa, apresentando como foi feita a coleta, a obtenção dos dados e como foi conduzida a pesquisa e os respectivos experimentos.

O capítulo 4 estratifica e apresenta o resultado dos testes propostos.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais, conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências utilizadas neste trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PROCESSO DE FURAÇÃO

Segundo a AB Sandvik Coromant Academy (1994), a furação é o termo que engloba todos os métodos de manufaturar furos cilíndricos em uma peça através de ferramentas de corte. Esse processo é de fato a operação de usinagem mais comum na indústria atualmente (como a Aeronáutica e Automobilística) onde a grande maioria dos furos apresentam diâmetros entre 10 e 20 milímetros.

A definição de furação segundo Dino Ferraresi (1977), que define a furação como o processo mecânico de usinagem cujo objetivo é um obter um furo cilíndrico em um produto, com auxílio de uma ferramenta que apresenta na maioria das vezes características multi-cortantes. Para obter esse resultado, a ferramenta de corte ou peça giram e se deslocam em uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina.

A maioria dos furos é feita com brocas inteiriças de metal duro, com pastilhas intercambiáveis (conforme ilustrado na Figura 1) ou de metal duro soldado. Com o desenvolvimento dos processos de manufatura dessas ferramentas, a furação em si pode ser realizada em uma única operação, sem a necessidade de um furo prévio ou furos piloto, garantindo a qualidade do furo com o auxílio de equipamentos de medição precisos (SANDVIK COROMANT ACADEMY, 1994).

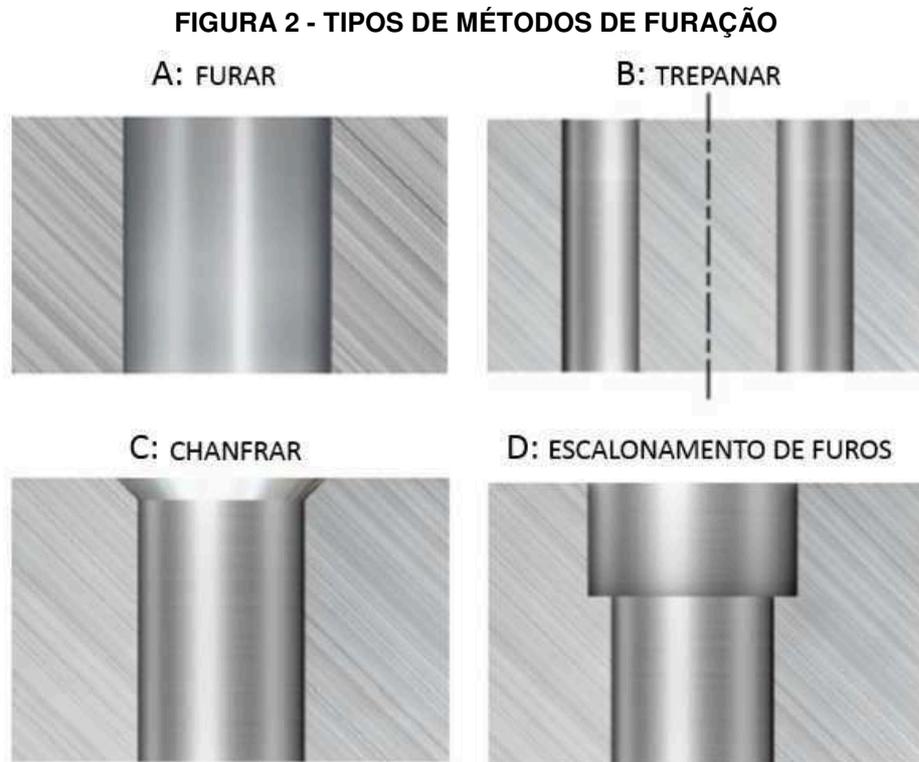
**FIGURA 1 – EXEMPLO DE FURAÇÃO HELICOIDAL COM PASTILHAS INTERCAMBIÁVEIS**



Fonte: SANDVIK COROMANT (2017) – Adaptado pelo Autor

### 2.1.1 Tipos de Furação

Segundo a AB Sandvik Coromant (1994), a Figura 2 mostra a divisão dos os tipos mais comuns de furação em basicamente quatro métodos:



Fonte: SANDVIK COROMANT (2017) – Adaptado pelo Autor

- Furos em cheio (A) é o processo de furação destinado à abertura de um furo removendo todo material compreendido no volume final do mesmo, na forma de cavaco (FERRARESI, 1977).

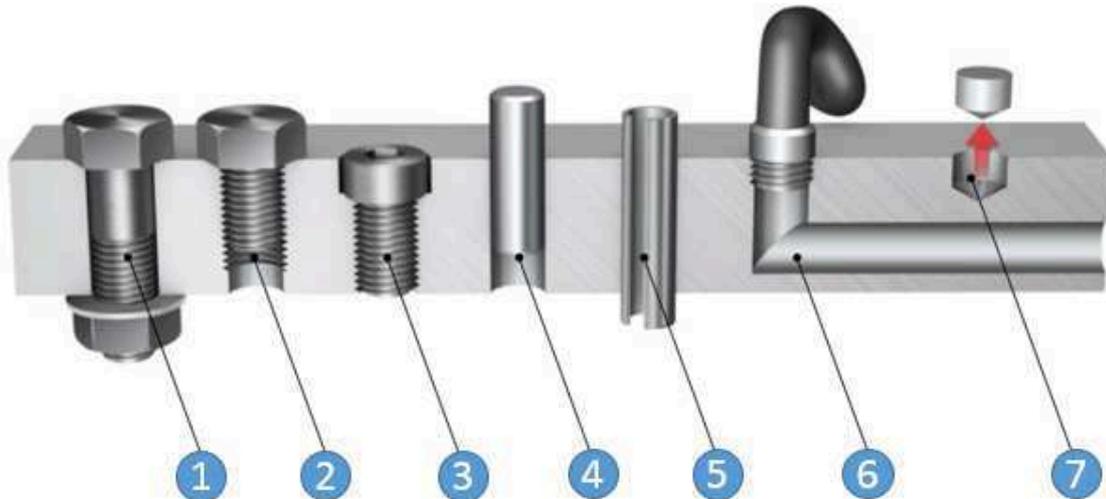
- Trepanação (B) é o processo de furação em que apenas uma parte do material compreendido no volume do furo final é reduzida a cavaco, permanecendo um núcleo maciço após a usinagem (FERRARESI, 1977).

- Furos chanfrados (C) é o processo de obter simultaneamente o furo e a usinagem das arestas (STEMMER, 1992), geralmente em 45° em relação a linha de centro de furação, mas podendo variar o ângulo de chanfro conforme aplicações específicas.

- Furos escalonados (D) é o processo de furação destinado à obtenção de um furo com dois ou mais diâmetros, simultaneamente (FERRARESI, 1977).

Segundo a AB Sandvik Coromant, a Figura 3 mostra os tipos de furos mais comuns encontrados na indústria. Na prática, notamos que os tipos de furos apresentados estão diretamente relacionados com a escolha do método de furação a ser utilizado e conseqüentemente na escolha correta da ferramenta de corte.

**FIGURA 3 - TIPOS DE FUROS**



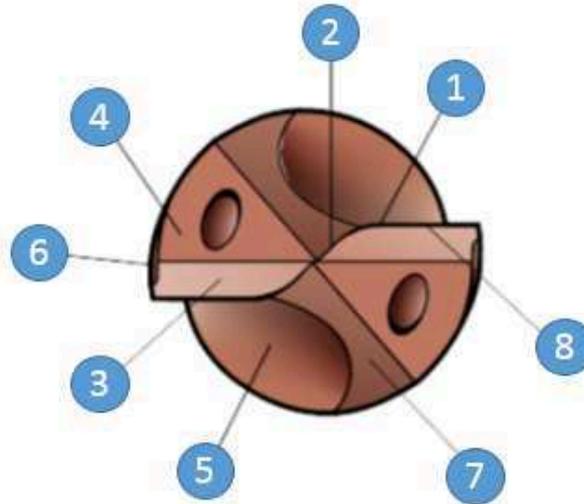
Nº	Descrição
1	Furos com folgas para parafusos
2	Furos com roscas para parafusos
3	Furos escareados
4	Furos justos ou precisos
5	Furos para tubos (Trocadores de calor)
6	Furos que formam canais e/ou profundos
7	Furos para remoção de peso (Balanceamento)

Fonte: SANDVIK COROMANT (2017) – Adaptado pelo Autor

### 2.1.2 Geometria da Ferramenta

Na Figura 4 pode-se observar os detalhes de construção da afiação da ponta de uma broca, segundo Stemmer (1992) essas características geométricas influenciam nos esforços de corte, rigidez torcional da haste, atrito da guia durante a furação, escoamento do cavaco, entre outros.

**FIGURA 4 – DETALHES E NOMENCLATURA DA PONTA DE UMA BROCA**



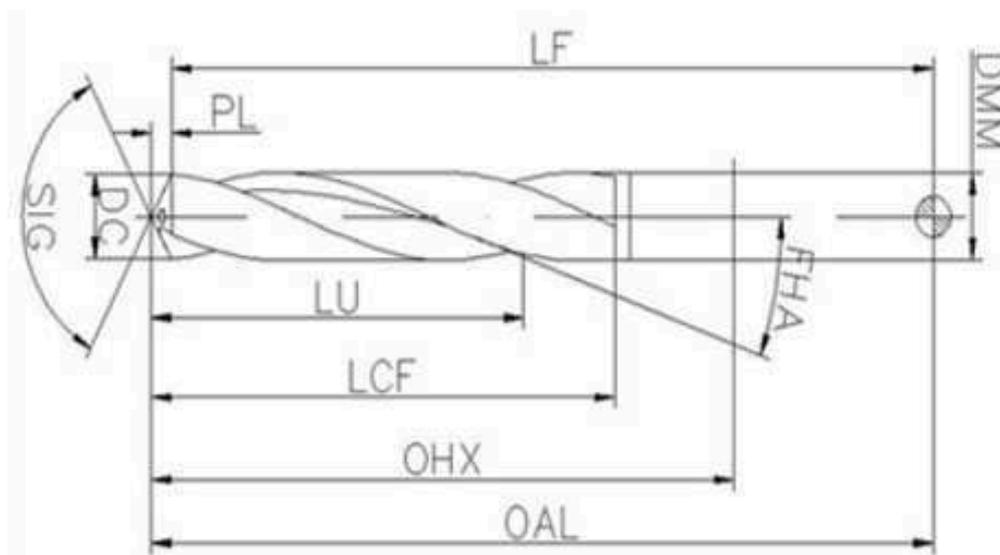
Nº	Descrição
1	Aresta de corte principal
2	Aresta de corte transversal
3	Folga primária
4	Folga secundária
5	Canal
6	Borda
7	Primeira divisão
8	Chanfro

Fonte: SANDVIK COROMANT (2017) – Adaptado pelo Autor

Essas geometrias também estão diretamente relacionadas com o material usinado e permite que a ferramenta obtenha o melhor desempenho e qualidade possíveis em determinadas matérias primas (STEMMER, 1992).

Na Figura 5 apresenta-se a os detalhes do corpo da ferramenta e suas respectivas nomenclaturas conforme ISO-13399, a geometria nesse caso específico é de uma broca helicoidal, a mais utilizada na execução de furos (STEMMER, 1992).

**FIGURA 5 – DETALHES E NOMENCLATURA DO CORPO DE UMA BROCA**

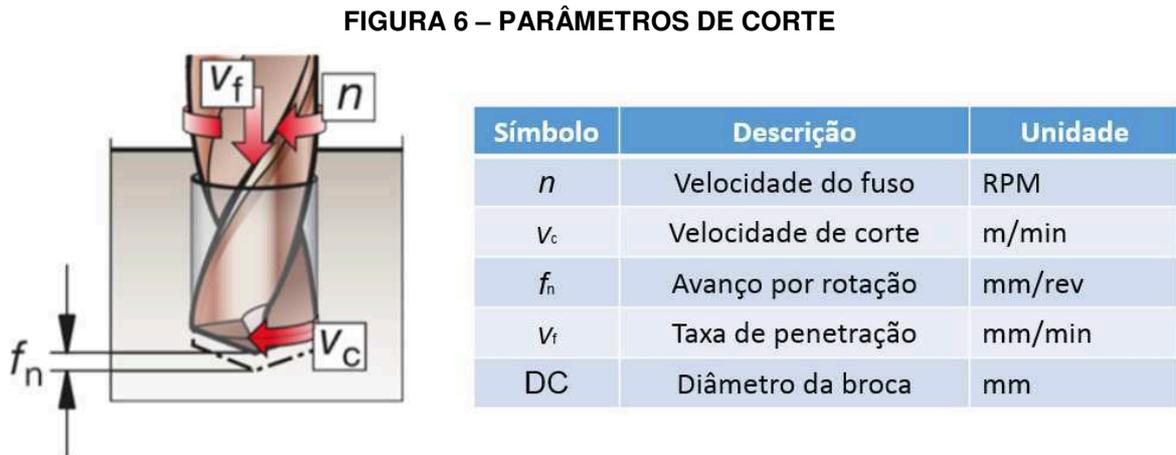


ISO 13399	Significado
OAL	Comprimento total
OHX	Balanço máximo
LCF	Comprimento do canal do cavaco
LU	Comprimento utilizável
DMM	Diâmetro da haste
FHA	Ângulo da hélice do canal
PL	Comprimento da ponta
DC	Diâmetro de corte
SIG	Ângulo da ponta

Fonte: SANDVIK COROMANT (2017) – Adaptado pelo Autor

### 2.1.3 Parâmetros de Corte

Conforme Figura 6 e de acordo com a AB Sandvik Coromant Academy (1994), esses são os parâmetros relacionados com o processo de furação, que influenciam diretamente na qualidade, desgaste, potência necessária e produtividade do processo de usinagem.



Fonte: SANDVIK COROMANT (2017) – Adaptado pelo Autor

O movimento de corte ( $V_c$ ) é o movimento entre a peça e a ferramenta, sem o movimento de avanço considerando somente uma única remoção de cavaco, durante uma volta ou curso da ferramenta e é calculado pela Fórmula 1 (FERRARESI, 1977).

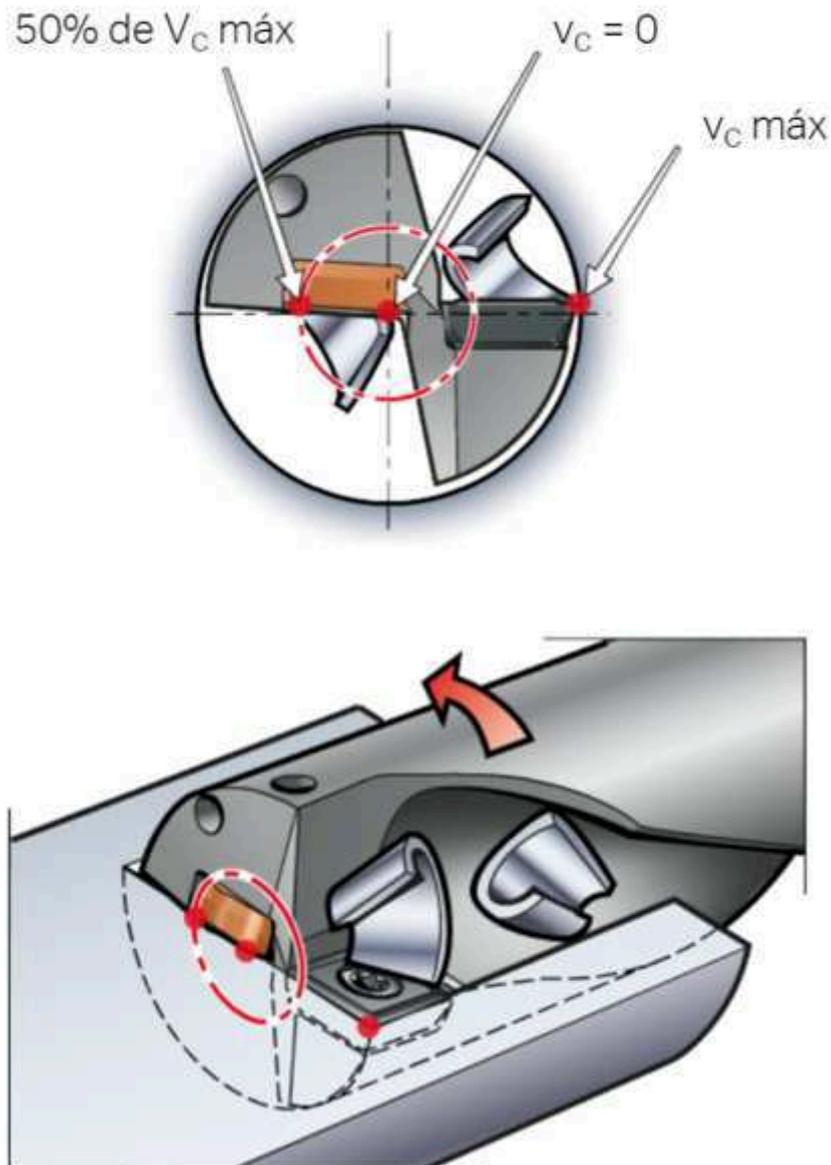
$$V_c = \frac{\pi \times \varnothing (DC) \times n}{1000} \quad (1)$$

O movimento de avanço ( $V_f$ ) é o movimento entre a peça e a ferramenta, que juntamente com o movimento de corte tende ao levantamento e remoção contínua do cavaco durante várias revoluções e é calculado pela Fórmula 2 (FERRARESI, 1977).

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

É importante também salientar que a velocidade de corte ( $V_c$ ) não é uniforme, existe uma variação de zero no centro do furo até sua velocidade de corte máxima na periferia conforme Figura 7 (STEMMER, 1992).

**FIGURA 7 – VARIÇÃO DA VELOCIDADE DE CORTE**



Fonte: SANDVIK COROMANT (2017)

Uma velocidade de corte nula no centro da ferramenta, simboliza que não existe corte nesse local, gerando atrito e um aumento de temperatura nessa região (AB SANDVIK COROMANT ACADEMY, 1994).

### 2.1.3.1 Influência da Velocidade de Corte

Segundo a AB Sandvik Coromant Academy (2017), a velocidade de corte ( $V_c$ ) afeta diretamente a potência e torque necessário para operação de furação, é o fator principal que determina a vida útil da ferramenta.

Altas velocidades de corte causam um rápido desgaste da ferramenta, deformações plásticas e qualidade insatisfatória do furo (AB SANDVIK COROMANT ACADEMY, 2017).

Baixas velocidades de corte causam aresta postiça (acumulo de material na aresta de corte), escoamento de cavaco ineficiente e tempos de usinagem mais longos (AB SANDVIK COROMANT ACADEMY, 2017).

### 2.1.3.2 Influência da Taxa de Penetração

Segundo a AB Sandvik Coromant Academy (2017), a Taxa de Penetração afeta diretamente a força de avanço, potência e torque na operação de furação, influencia diretamente no controle da formação de cavacos e no acabamento superficial da peça usinada.

Altas taxas de penetração ou avanço por rotação, influenciam negativamente na quebra de cavacos e atua positivamente para reduzir o tempo de usinagem (AB SANDVIK COROMANT ACADEMY, 2017).

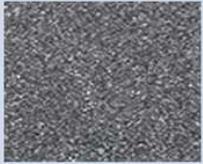
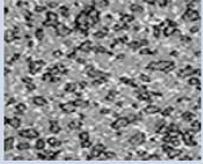
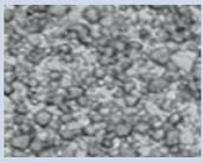
Baixas taxas de penetração ou avanço por rotação, geram cavacos mais longos e finos, atua positivamente na qualidade final do furo e influencia negativamente aumentando o tempo de usinagem e desgastando a ferramenta prematuramente (AB SANDVIK COROMANT ACADEMY, 2017).

### 2.1.4 Metal Duro

Metal duro é o material para ferramentas mais importante na indústria moderna, devido à combinação de dureza à temperatura ambiente, dureza a quente, resistência ao desgaste e boa tenacidade (FERRARESI, 1977).

Existem inúmeros tipos de metal duro utilizados na indústria, conforme Figura 8, cada um com características e elementos de liga específicos, que estão diretamente ligados as propriedades de tensão de ruptura e dureza do material. (SANDVIK HYPERION, 2018).

**FIGURA 8 – TIPOS DE METAL DURO MAIS UTILIZADOS**

H10F							Imagem do grão
ISO US	Dureza		Densidade g/cm <sup>3</sup>	Elemento de Liga %	Módulo de Ruptura		
	Hv30	HRA			N/mm <sup>2</sup>	PSI	
K20 – K30 C1 – C2	1600	92,1	14,45	10	4300	623000	
S10F							
ISO US	Dureza		Densidade g/cm <sup>3</sup>	Elemento de Liga %	Módulo de Ruptura		
	Hv30	HRA			N/mm <sup>2</sup>	PSI	
P10 – P40 C5 - C7	1550	91,8	12,70	11	3000	435000	
SM20							
ISO US	Dureza		Densidade g/cm <sup>3</sup>	Elemento de Liga %	Módulo de Ruptura		
	Hv30	HRA			N/mm <sup>2</sup>	PSI	
K20 – C2	1620	92,3	14,80	6	2800	406000	
SM25							
ISO US	Dureza		Densidade g/cm <sup>3</sup>	Elemento de Liga %	Módulo de Ruptura		
	Hv30	HRA			N/mm <sup>2</sup>	PSI	
P25 – C6	1525	91,1	12,67	9,5	3200	464000	
CE05							
ISO US	Dureza		Densidade g/cm <sup>3</sup>	Elemento de Liga %	Módulo de Ruptura		
	Hv30	HRA			N/mm <sup>2</sup>	PSI	
P10 – P30 C6 – C7	1500	91,3	7,30	-	2000	290000	

Fonte: SANDVIK HYPERION (2018) – Adaptado pelo Autor

O metal duro vastamente utilizado na manufatura de ferramentas de corte é o H10F, que possui grãos extrafinos de metal duro, alta resistência ao desgaste, resistência média a corrosão e um alto nível de dureza (SANDVIK HYPERION, 2018).

O metal duro pode ser manufaturado e preparado para ferramentas rotativas sólidas em diversos diâmetros e tipos de canais de lubrificação e/ou refrigeração conforme mostra a Figura 9 (SANDVIK HYPERION, 2018).

**FIGURA 9 – TIPOS DE METAL DURO MAIS UTILIZADOS PARA FERRAMENTAS ROTATIVAS SÓLIDAS**



Letra	Descrição do tipo de canal
A	Sem canal
B	Canal reto / gêmeo
C	Canal em espiral / gêmeo
D	Canal de furo único

Fonte: SANDVIK HYPERION (2018) – Adaptado pelo Autor

### 2.1.5 Fluidos de Corte

Segundo Dino Ferraresi (1977) a função do fluido de corte na usinagem é de introduzir melhorias que podem ter dois tipos de objetivos, melhorias de caráter econômico ou de caráter funcional.

As melhorias de caráter funcional estão ligadas ao desempenho e facilitação da usinagem, como redução do coeficiente de atrito entre ferramenta e cavaco, expulsão do cavaco da região de corte, refrigeração e melhor acabamento superficial da peça (DINO FERRARESI, 1977).

As melhorias de caráter econômico estão ligadas a redução do custo de energia, redução do custo da ferramenta na operação, impedimento da corrosão da peça ou outras não conformidades na usinagem (DINO FERRARESI, 1977).

Segundo Dino Ferraresi (1977) nas operações de usinagem, os fluidos de corte podem ser classificados em sólidos, líquidos e gasosos. Os fluidos de corte líquidos, vastamente e comumente utilizado nas operações de furação, que são divididos em óleos de corte puros, óleos emulsionáveis (solúveis) ou fluidos químicos (sintéticos):

a) Óleos de corte puros: Não são misturados com água para uso nas operações de usinagem, dois exemplos são os óleos minerais e óleos graxos. Óleos minerais são vastamente utilizados devido ao seu baixo custo e a sua baixa viscosidade. Já os óleos graxos têm seu emprego restrito devido ao alto custo, são indicados atualmente para uso em operações severas de usinagem (DINO FERRARESI, 1977).

b) Óleos emulsionáveis (Solúveis): Deve ser sempre usado com aditivos e a proporção entre óleo e água deve estar entre 5-12% para melhorar a vida útil da ferramenta, em aços inoxidáveis e ligas resistentes ao calor aços esse valor pode chegar de 10-15%. (SANDVIK COROMANT, 2017).

c) Fluidos de corte químicos (Sintéticos): É constituído de agentes químicos em água. A maioria desses fluidos tem características de um fluido refrigerante. Suas maiores vantagens são a alta capacidade de refrigeração, boa vida útil do fluido, promove a limpeza das canalizações e possuem compatibilidade com outros processos (DINO FERRARESI, 1977).

Considera-se fluídos gasosos todos os fluidos de corte que exerçam suas funções no estado gasoso, ou seja, podem ser inicialmente líquidos ou não, mas ao saírem dos canais de refrigeração diretamente para região de corte deverão estar obrigatoriamente em fase gasosa. Sua penetrabilidade na zona de corte é bem maior e mais efetiva comparada aos outros fluídos de corte devido a sua menor viscosidade. Alguns exemplos de fluídos de corte gasosos comumente utilizados na indústria em geral são o próprio ar, dióxido de carbono e nitrogênio (DINO FERRARESI, 1977).

Os fluídos de corte visam de maneira geral a refrigeração e a expulsão do cavaco durante a operação de usinagem. No caso específico do ar apresenta-se uma baixa capacidade de refrigeração comparada a fluidos de corte líquidos, entretanto quando aplicado sob pressão e temperaturas abaixo de 0°C os resultados obtidos podem ser considerados satisfatórios e pode-se obter melhorias na vida média da ferramenta em até 40% em temperaturas de aproximadamente -8°C (DINO FERRARESI, 1977).

### 2.1.7 Desgaste e Avarias em Brocas

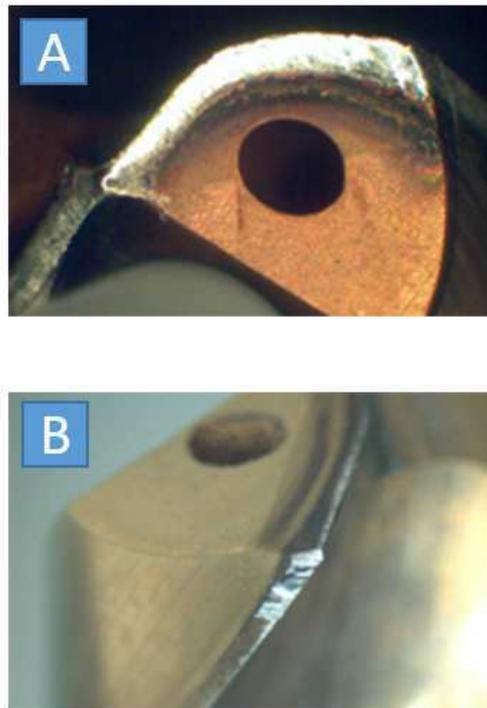
De acordo com a AB Sandvik Coromant Academy (2017), os desgastes e avarias em ferramentas de corte podem ter como causa inúmeros fatores como batimento radial além do permitido, velocidades de corte muito baixas ou agressivas, fluído de corte não é ideal para operação, etc.

Esses desgastes também estão diretamente ligados com a qualidade final das peças usinadas, podendo causar não conformidades em relação ao diâmetro, rugosidade, concentricidade e em casos extremos até a danificação do equipamento de furação (STEMMER, 1992).

#### 2.1.7.1 Desgaste de Flanco

Desgaste de flanco ocorre devido a grandes batimentos radiais, altas velocidades de corte, baixos avanços, classe escolhida para usinagem não apresenta a dureza necessária e/ou fluído de corte insuficiente. Esse tipo de desgaste pode ocorrer na aresta principal [A] ou na fase circular [B] conforme demonstrado pela Figura 10 (SANDVIK COROMANT, 2018).

**FIGURA 10 – DESGASTE DE FLANCO NA ARESTA PRINCIPAL E NA FASE CIRCULAR**



Fonte: SANDVIK COROMANT (2018) – Adaptado pelo Autor

### 2.1.7.2 Desgaste de Flanco na Aresta Transversal

O desgaste de flanco na aresta transversal ocorre na ponta da ferramenta de corte, costuma acontecer nos casos que apresentam grandes batimentos radiais, baixas velocidades de corte e/ou altos avanços conforme mostrado na Figura 11 (SANDVIK COROMANT, 2018).

**FIGURA 11 – DESGASTE DE FLANCO NA ARESTA TRANSVERSAL**

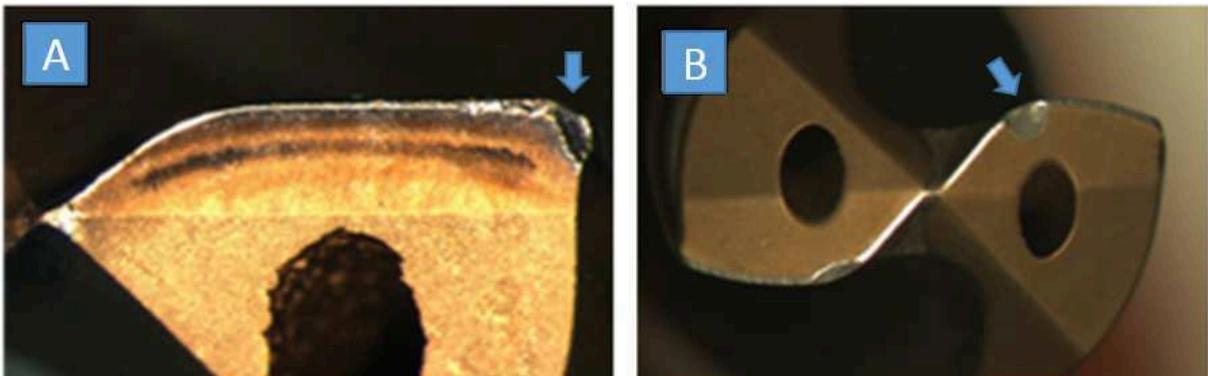


Fonte: SANDVIK COROMANT (2018)

### 2.1.7.3 Lascamento

O lascamento na ferramenta de corte ocorre devido a condições instáveis de furação, grandes batimentos radiais, fluido de corte insuficiente causando trincas térmicas e/ou utilização com desgaste excessivo. Esse tipo de problema pode ocorrer na periferia da aresta de corte [A] ou na aresta principal [2] conforme apresentado na Figura 12 (SANDVIK COROMANT, 2018).

**FIGURA 12 – LASCAMENTO NA PERIFERIA E NA ARESTA PRINCIPAL**



Fonte: SANDVIK COROMANT (2018) – Adaptado pelo Autor

#### 2.1.7.4 Quebra da Ferramenta

A quebra da ferramenta de corte pode ocorrer devido a grandes batimentos radiais, condições instáveis de furação, potência insuficiente do fuso, entupimento de cavacos nos canais da ferramenta, altos avanços e/ou utilização com desgaste excessivo conforme Figura 13 (SANDVIK COROMANT, 2018).

**FIGURA 13 – BROCA QUEBRADA**

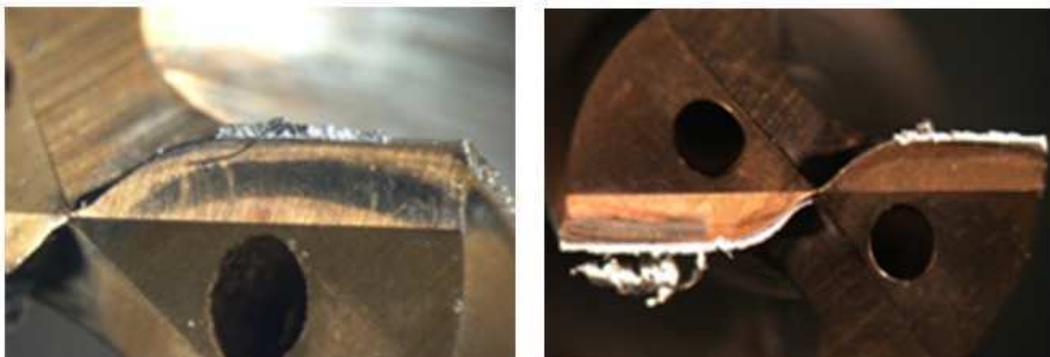


Fonte: SANDVIK COROMANT (2018)

#### 2.1.7.5 Aresta Postiça

A aresta postiça é o acúmulo do material usinado na aresta de corte, podendo ser causada devido a baixas velocidades de corte, baixas temperaturas na aresta durante a furação, ângulos negativos na aresta e/ou a falta da cobertura correta na ferramenta, conforme mostra a Figura 14. Nesses casos deve-se aumentar a velocidade de corte quando a aresta postiça estiver no centro ou diminuir a velocidade de corte quando o acúmulo de material estiver na periferia (SANDVIK COROMANT, 2018).

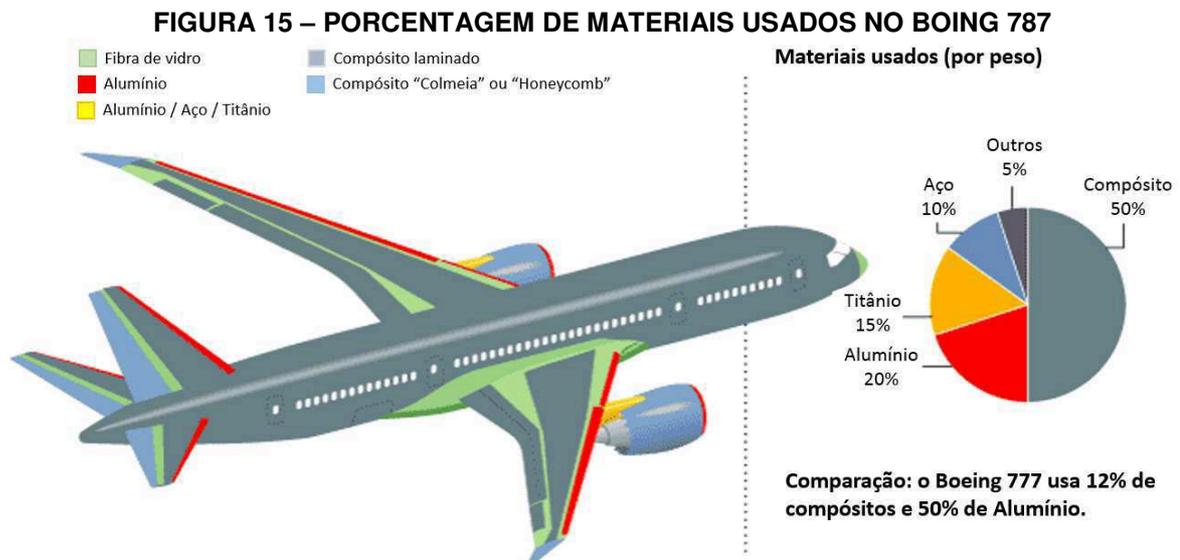
**FIGURA 14 – ARESTA POSTIÇA FORMADA NA ARESTA DE CORTE**



Fonte: SANDVIK COROMANT (2018)

## 2.2 FURAÇÃO NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

Conforme mostra a Figura 15, a porcentagem de Titânio e Alumínio representam uma quantidade significativa dos materiais utilizados em uma aeronave nos dias de hoje (MODERN AIRLINERS, 2018).



Fonte: MODERN AIRLINERS (2018) – Adaptado pelo Autor

Segundo a Modern Airlines (2018), o alumínio, muito utilizado devido as suas propriedades mecânicas e sua leveza, pode chegar até 50% da aeronave. Materiais Compostos apesar de seu custo mais elevado, vem substituindo o alumínio por proporcionar uma leveza para aeronave ainda maior, diminuindo o consumo de combustível e conseqüentemente o reduzindo custo de operação.

Materiais como aço e titânio, chegam a representar 25% da aeronave (MODERN AIRLINERS, 2018), são utilizados em regiões específicas, onde é necessário que os materiais tenham propriedades como a resistência mecânica em altas temperaturas (CAMPBELL, 2011).

O titânio vem crescendo como uma opção alterativa para o aço, não só pelas suas propriedades mecânicas, mas também pelo fato de sua densidade ser relativamente bem mais leve que a do próprio aço (CAMPBELL, 2011).

## 2.2.1 Definição e Propriedades dos Materiais

### 2.2.1.1 Alumínio

O Alumínio faz parte da classificação de materiais N, que é utilizada para materiais não-ferrosos como Alumínio, cobre, entre outros (AB SANDVIK COROMANT ACADEMY, 2017).

Segundo Dino Ferraresi (1977) esses materiais apresentam uma usinabilidade fácil, devido pressão específica de corte mais baixas e ao fato de suportarem altas velocidades de corte, avanço e grande produção de cavaco. Devido ao seu alto coeficiente de dilatação térmica, o alumínio deverá ser mantido sempre frio para garantir que suas dimensões sejam controladas corretamente.

Ligas de Alumínio da série 2000 (Alumínio-Cobre) e 7000 (Alumínio-Zinco), são muito utilizadas em peças e aplicações estruturais de uma aeronave. As ligas 2000 são utilizadas em aplicações e áreas suscetíveis a danos, como a estrutura da fuselagem, regiões da asa, etc. A nova liga 2524-T3 é vastamente utilizada por esse ramo aeronáutico, pois apresenta uma melhoria de 15-20% em resistência a fratura e o dobro de resistência a fadiga comparada com outras ligas específicas de alumínio (CAMPBELL, 2011).

As ligas 7000 são utilizadas em regiões em que uma maior resistência mecânica é requerida. O controle e eliminação de purezas indesejadas, juntamente com tratamentos térmicos tem resultado em grandes avanços na resistência a fratura e reduzindo a suscetibilidade a trincas por corrosão geradas pelo stress de operação (CAMPBELL, 2011).

### 2.2.1.2 Titânio

O titânio encontra-se na a classificação ISO S, Super ligas resistentes ao calor, sendo dividido entre titânio e um grande número de ligas a base de ferro, níquel e cobalto (AB SANDVIK COROMANT ACADEMY, 2017).

O Titânio Ti-6Al-4V desenvolvida por volta de 1980, é a liga de titânio mais vastamente utilizada na indústria aeronáutica e a mais importante no momento, devido a sua excelente resistência a fadiga, resistência a corrosão, capacidade de trabalhar em altas temperaturas (CAMPBELL, 2011).

Esse material também vem sendo utilizado na redução de peso das aeronaves no mercado, podendo substituir ligas de aço devido a suas características mecânicas suportarem os esforços necessários e pelo fato de sua densidade ser relativamente menor. Um exemplo de nova aplicação desse material é o trem de pouso, que tradicionalmente manufaturado de aços com grandes resistências mecânicas (CAMPBELL, 2011).

## 2.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

Segundo Ribeiro e Caten (2012), o controle estatístico do processo (CEP) é uma técnica onde um sistema de inspeção por amostragem busca verificar a presença de causas não naturais, melhorando processos de produção e conseqüentemente a qualidade do produto final.

Esse processo permite a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade de interesse, contribuindo para a melhoria da qualidade intrínseca, da produtividade e da confiabilidade evitando possíveis refugos e retrabalhos no processo, características que estão diretamente ligadas com o custo final de uma peça (RIBEIRO; CATEN, 2012).

Devido à alta competitividade do mercado essa técnica estatística é vastamente utilizada na indústria atualmente pelas equipes de qualidade e processo de fabricação, buscando processos mais robustos e baratos, que podem ser atingidos através do controle estatístico do processo, que possibilita melhorias contínuas, garantindo um processo de fabricação estável, previsível, com uma identidade e capacidade definidas (RIBEIRO; CATEN, 2012).

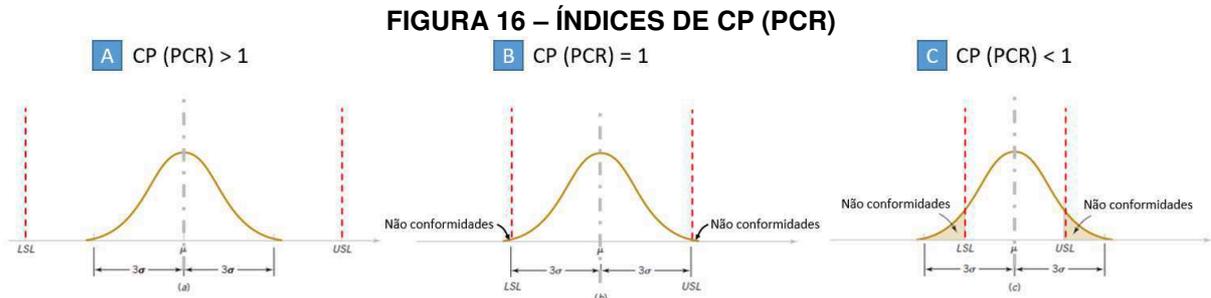
### 2.3.1 Índices de Capabilidade

Segundo Montgomery e Runger (2013), a capabilidade de um processo é a performance de um processo já em operação e estatisticamente controlado. Os índices da capabilidade denominados de CP (PCR - Process Capability Ratio) e CPk (PCRk - Process Capability Ratio K) para controlar estatisticamente a qualidade e dimensões dos furos executados.

CP (PCR) está ligado a largura das amostras em relação as especificações, é um índice mais simples que desconsidera a centralização do processo, podendo não atingir as necessidades do cliente se não for centrado dentro das especificações dos limites superiores e inferiores do cliente (MONTGOMERY; RUNGER, 2013).

CPk (PCRk) está ligado a posição das amostras em relação as especificações, é um índice focado na centralização do processo, e deve ser trabalho em conjunto com o CP (PCR) para obter resultados centrados e repetitivos nas especificações do cliente, tornando assim o processo mais previsível e capacidades definidas (MONTGOMERY; RUNGER, 2013).

Segundo Montgomery e Runger (2013) a Figura 16 explica e ilustra a maneira de como as amostras influenciam diretamente no índice de CP (PCR).



Sigla	Descrição em Inglês	Descrição em Português
USL	Upper Specification Limit	Limite Superior
LSL	Lower Specification Limit	Limite Inferior
$\sigma$	Standard Deviation	Desvio Padrão
$\mu$	Nominal Dimension	Dimensão Nominal

**Fonte: MONTGOMERY; RUNGER (2013) – Adaptado pelo Autor**

Em (A) com os índices de CP acima de 1, notamos que as amostras se encontram completamente dentro das especificações e utiliza somente uma parte do limite superior e inferior, caracterizando um processo mais repetitivo e estabilizado caso os índices de CPk sejam satisfatórios (MONTGOMERY; RUNGER, 2013).

Em (B) com os índices de CP igual a 1, notamos que as amostras se ocupam a totalidade das especificações, caracterizando um processo não tão repetitivo e com mais chances de não-conformidades (refugos) e/ou retrabalhos (MONTGOMERY; RUNGER, 2013).

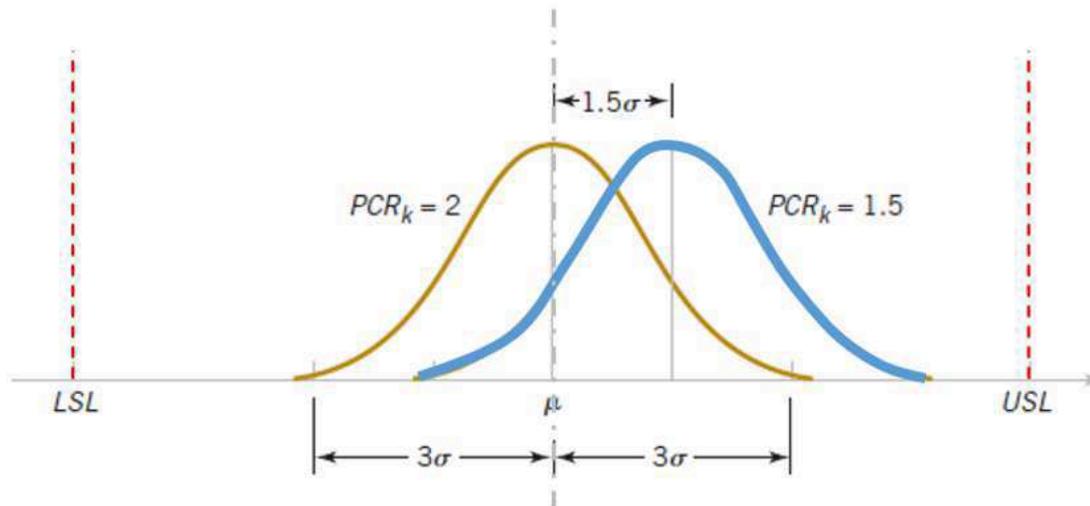
Em (C) com os índices de CP inferiores a 1, notamos que as amostras ultrapassam a linha das especificações, caracterizando um processo não repetitivo e altos índices de não-conformidades (MONTGOMERY; RUNGER, 2013).

As formulas e definições necessárias para efetuar o cálculo do índice de CP são descritas conforme fórmula abaixo apresentada por Montgomery e Runger (2013).

$$PCR (Cp) = \frac{USL - LSL}{6 \times \sigma}$$

Segundo Montgomery e Runger (2013) a Figura 17 explica e ilustra a maneira de como as amostras influenciam diretamente no índice de CPk (PCRk).

FIGURA 17 – ÍNDICES DE CPk (PCRk)



Sigla	Descrição em Inglês	Descrição em Português
USL	Upper Specification Limit	Limite Superior
LSL	Lower Specification Limit	Limite Inferior
$\sigma$	Standard Deviation	Desvio Padrão
$\mu$	Nominal Dimension	Dimensão Nominal

Fonte: MONTGOMERY; RUNGER (2013) – Adaptado pelo Autor

Notamos que as amostras representadas pela linha marrom se encontram no centro do processo, e por isso possuem um índice de CPk de valor 2,0. Em contrapartida as amostras representadas pela linha azul encontram-se no fora da linha de centro do processo, apresentando um afastamento de 1,5 vezes o desvio padrão, e conseqüentemente possuem um índice de CPk de valor menor do que as amostras apresentadas em marrom (MONTGOMERY; RUNGER, 2013).

A formula e definições necessárias para efetuar o cálculo do índice de CPk se encontram abaixo (MONTGOMERY; RUNGER, 2013).

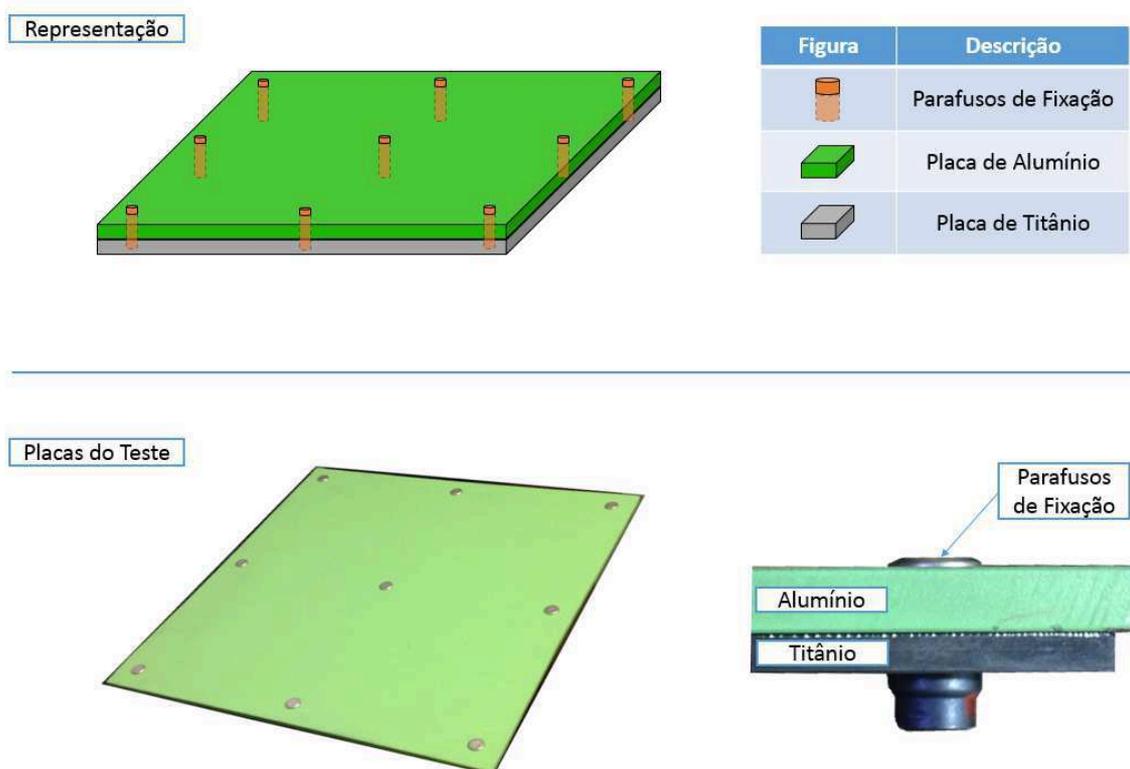
$$PCRk (CPk) = \left[ \frac{USL - \mu}{3 \times \sigma}, \frac{\mu - LSL}{3 \times \sigma} \right]$$

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS

Foram montadas e fixadas duas placas de mesmo comprimento e largura para execução dos testes, fixadas por parafusos em pontos estratégicos com o objetivo de garantir que os cavacos gerados no processo de furação não entrem entre as placas e prejudiquem a qualidade dos furos. A primeira placa é de Alumínio (Liga: 7475-T7351), cuja cor esverdeada é proveniente de um revestimento antioxidante comumente utilizado na indústria aeronáutica, possui comprimento e largura de 300x300mm e espessura de 6,35 milímetros. A segunda placa montada será de Titânio (Liga: Titânio 6Al-4V) com comprimento e largura de 300x300mm e espessura de 4 milímetros conforme ilustra a Figura 18.

**FIGURA 18 – MONTAGEM DAS PLACAS DE ALUMÍNIO E TITÂNIO**



Fonte: Autor

### 3.2 MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

Para realizar o teste de furação será utilizado um centro de usinagem da Marca ROMI, modelo ROMI D800. Esse modelo é um centro de usinagem vertical de 3-eixos, possui uma potência de 20 CV (15kW) e uma rotação máxima de 10.000 rotações por minuto.

A ROMI D800 pode ser visualizada na Figura 19.

**FIGURA 19 – CENTRO DE USINAGEM ROMI D800**



Fonte: Autor

### 3.3 FERRAMENTA

A ferramenta escolhida para os testes tem a geometria denominada pelo fabricante como 30MD, a matéria prima utilizada é o metal duro H10F e foi desenvolvida pela Sandvik Coromant para furação de multi-materiais.

A Figura 20 ilustra as dimensões, comprimento utilizável, tolerâncias da ferramenta, informações sobre a lubrificação/refrigeração interna.

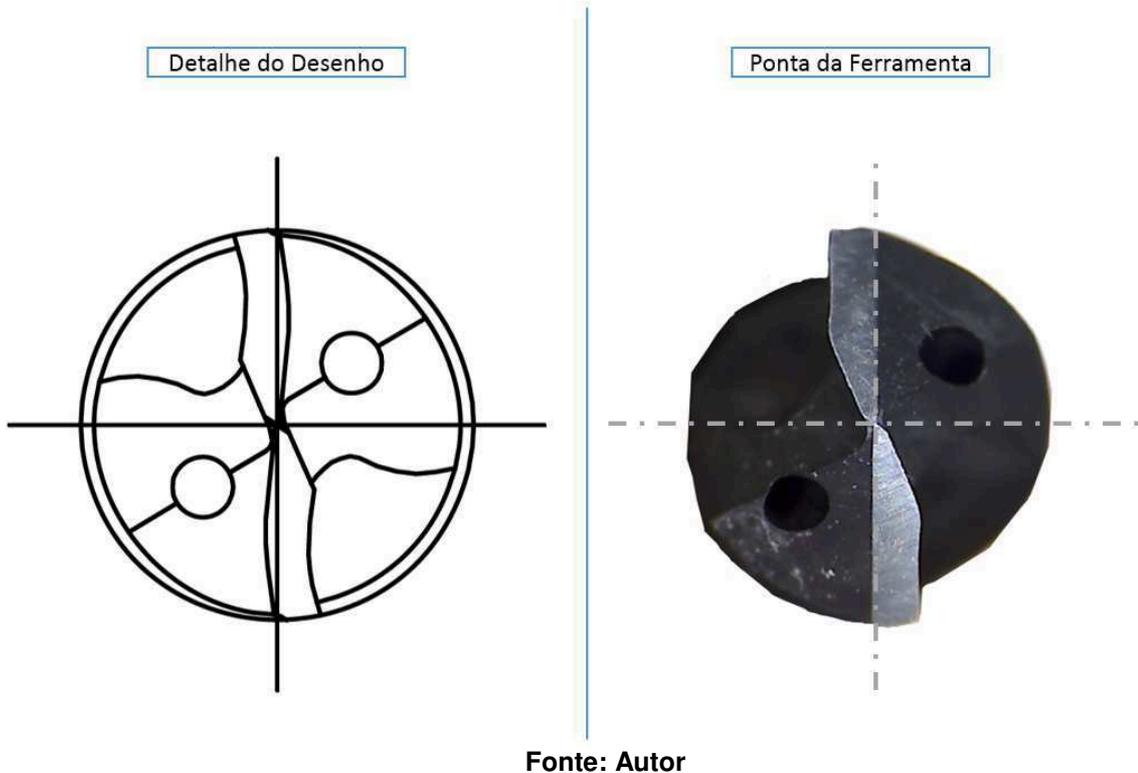
**FIGURA 20 – DIMENSÕES DA FERRAMENTA DE CORTE**



Fonte: Autor

A Figura 21 mostra o detalhamento da ponta da ferramenta em relação ao desenho na esquerda e a própria ferramenta fisicamente na direita.

**FIGURA 21 – PONTA DA FERRAMENTA DE CORTE DE GEOMETRIA 30MD**



### 3.4 REFRIGERAÇÃO

A refrigeração será utilizada diretamente na zona de contato da ferramenta com o material usinado através dos canais internos de lubrificação/refrigeração, será utilizado ar pressurizado a 4 bar, estará em temperatura ambiente e seu intuito será de expulsar o cavaco da zona de corte.

### 3.5 MONTAGEM DA FERRAMENTA

A ferramenta foi acoplada em um porta ferramenta conforme Figura 22-A da marca Sandvik Coromant, modelo CoroChuck 930 (930-B40-S-20-094), houve a necessidade de uma pinça cilíndrica conforme Figura 22-B da marca Sandvik Coromant, modelo 393.CGS-20 10 52 para adequar o diâmetro do porta ferramenta de 20mm para os 10mm de diâmetro da ferramenta de corte. A montagem de todos os itens citados acima ficará visualmente conforme apresentado na Figura 22-C.

**FIGURA 22 – MONTAGEM DA FERRAMENTA**



Fonte: Autor

### 3.6 SISTEMA DE MEDIÇÃO

A medição dos furos será realizada pelos equipamentos ilustrados na Figura 23, o sistema de medição é composto pelo relógio comparador conforme Figura 23-A da marca Mahr, modelo MarCator 1086Ri 12,5mm, adaptador para ponta de medição conforme Figura 23-B da marca DIATEST, uma ponta de contato esférica, expansível e auto-centrante conforme Figura 23-C da marca DIATEST e um anel padrão conforme Figura 23-D também da marca DIATEST com diâmetro de 6,5mm.

FIGURA 23 – SISTEMA DE MEDIÇÃO

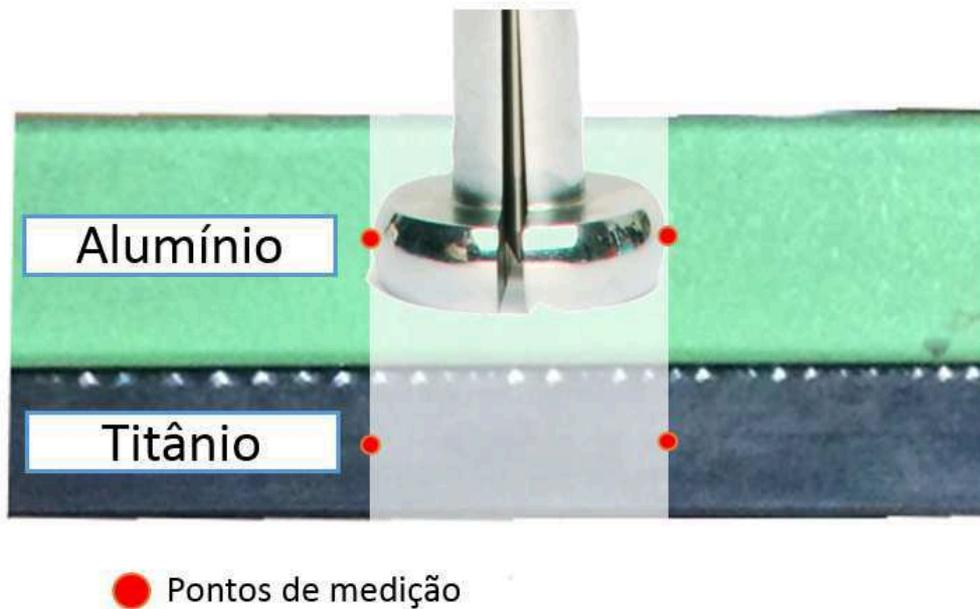


Fonte: Autor

Serão medidos 100% dos furos usinados, a Figura 24 ilustra os pontos que serão colhidos pelo equipamento de medição nas chapas de alumínio e titânio, esses pontos foram estrategicamente escolhidos com o objetivo de identificar o diâmetro no ponto médio de cada material. Por furo serão extraídas quatro medidas:

- a) Medição no Alumínio em  $0^\circ$
- b) Medição no Alumínio em  $90^\circ$
- c) Medição no Titânio em  $0^\circ$
- d) Medição no Titânio em  $90^\circ$

**FIGURA 24 – PONTOS DE MEDIÇÃO**



Fonte: Autor

### 3.7 METODOLOGIA E PARÂMETROS

Os parâmetros serão divididos entre velocidades de corte e avanços lentos, baseline (recomendado) e agressivos (rápidos), os valores foram indicados pelo próprio fabricante da ferramenta. Em todas as situações será adotado também uma estratégia para quebrar o cavaco gerado na usinagem, a cada 0,5mm avançados pela ferramenta haverá uma pausa no avanço de 0,5 segundos, o objetivo é de romper o cavaco gerado e facilitar a evacuação do mesmo.

A Tabela 1 mostra os parâmetros dos testes relacionados com as velocidades de corte escolhidas para furação.

**TABELA 1 – VELOCIDADES DE CORTE ESCOLHIDAS PARA O TESTE**

#	<i>n</i> RPM	<i>Vc</i> m/min	<i>Descrição</i>
1	550	10	Lento
2	1050	20	Baseline
3	1600	30	Agressivo

Fonte: Autor

A Tabela 2 mostra os parâmetros dos testes relacionados com as velocidades de avanço escolhidas para furação.

**TABELA 2 – AVANÇOS ESCOLHIDOS PARA O TESTE**

#	<i>F<sub>n</sub></i> mm/rev	<i>Descrição</i>
1	0,045	Lento
2	0,075	Baseline
3	0,120	Agressivo

Fonte: Autor

A Tabela 3 mostra o arranjo dos parâmetros de corte.

**TABELA 3 – PARÂMETROS DE CORTE DOS TESTES**

TESTE	Velocidade [RPM]	Velocidade [Vc]	Avanço [mm/rev]	Avanço [mm/min]
1	[1] 550	[1] 10	[1] 0,045	24,75
2	[1] 550	[1] 10	[2] 0,075	41,25
3	[1] 550	[1] 10	[3] 0,120	66,00
4	[2] 1050	[2] 20	[1] 0,045	47,25
5	[2] 1050	[2] 20	[2] 0,075	78,75
6	[2] 1050	[2] 20	[3] 0,120	126,00
7	[3] 1600	[3] 30	[1] 0,045	72,00
8	[3] 1600	[3] 30	[2] 0,075	120,00
9	[3] 1600	[3] 30	[3] 0,120	192,00

Fonte: Autor

A Figura 25 ilustra as regiões de corte para cada parâmetro de corte nas placas de Titânio e Alumínio.

**FIGURA 25 – REGIÕES DE CORTE NO CORPO DE PROVA**



Fonte: Autor

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 RESULTADO DO TESTE 1

A Tabela 4 mostra os diâmetros obtidos pela medição manual do teste 1.

**TABELA 4 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #1**

Furo nº	Alumínio		Titânio		Furo nº	Alumínio		Titânio	
	Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °		Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °
1	6,110	6,108	6,107	6,104	22	6,110	6,109	6,110	6,106
2	6,107	6,111	6,111	6,110	23	6,107	6,107	6,107	6,107
3	6,110	6,110	6,107	6,117	24	6,107	6,109	6,108	6,104
4	6,115	6,114	6,108	6,110	25	6,107	6,108	6,109	6,107
5	6,112	6,114	6,111	6,112	26	6,108	6,106	6,108	6,105
6	6,108	6,110	6,105	6,112	27	6,109	6,110	6,109	6,105
7	6,108	6,111	6,111	6,104	28	6,112	6,112	6,106	6,105
8	6,110	6,110	6,110	6,103	29	6,112	6,113	6,112	6,108
9	6,113	6,111	6,110	6,106	30	6,130	6,128	6,112	6,115
10	6,119	6,118	6,110	6,105	31	6,122	6,125	6,115	6,116
11	6,112	6,105	6,109	6,106	32	6,120	6,120	6,113	6,108
12	6,112	6,113	6,106	6,107	33	6,115	6,113	6,114	6,110
13	6,113	6,115	6,110	6,110	34	6,117	6,118	6,112	6,112
14	6,113	6,110	6,113	6,108	35	6,112	6,110	6,115	6,113
15	6,112	6,112	6,108	6,108	36	6,114	6,116	6,110	6,111
16	6,111	6,113	6,113	6,115	37	6,115	6,116	6,113	6,111
17	6,121	6,114	6,107	6,109	38	6,114	6,115	6,114	6,109
18	6,114	6,111	6,111	6,107	39	6,114	6,117	6,113	6,110
19	6,111	6,115	6,111	6,110	40	6,112	6,114	6,113	6,107
20	6,108	6,108	6,110	6,105	41	-	-	-	-
21	6,112	6,110	6,110	6,104	42	-	-	-	-

Fonte: Autor

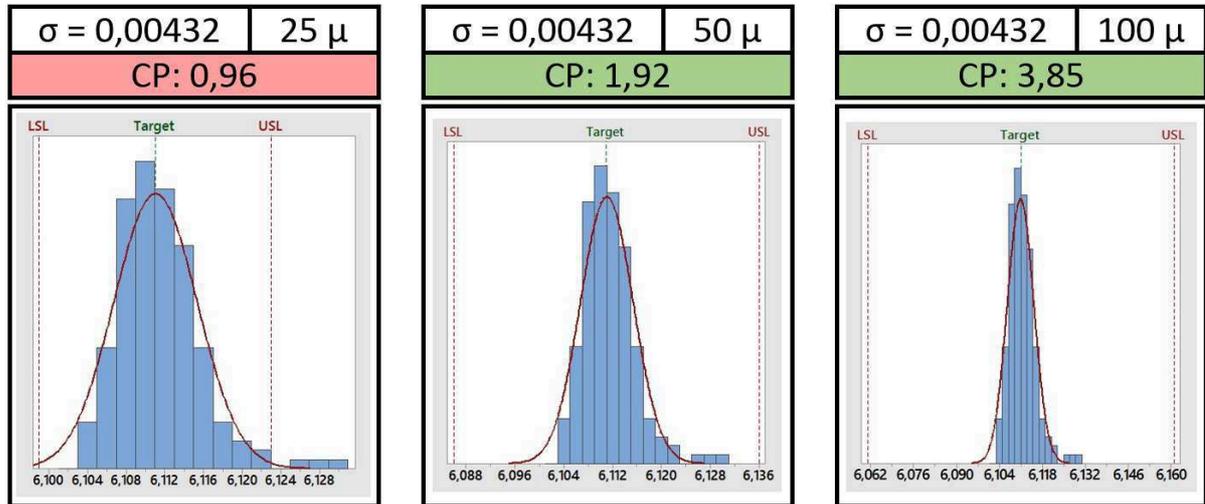
Nota-se que os diâmetros encontrados na medição se demonstram estáveis, possuindo uma média de 6,111mm e seus valores estão variando entre 6,103mm e 6,130mm, que está de 5 a 32 microns acima do diâmetro nominal da ferramenta.

Salienta-se que os diâmetros encontrados acima de 6,120mm representam somente 10% dos furos executados (4 de um total de 40 furos).

Em relação a performance da ferramenta, ela apresenta um tempo de furação de aproximadamente 32,4 segundos por furo em contato com o material.

A Figura 26 ilustra os gráficos obtidos no processo de furação e seus respectivos índices de CP (PCR) que foram calculados levando em consideração as tolerâncias do furo de 25, 50 e 100 microns de diâmetro.

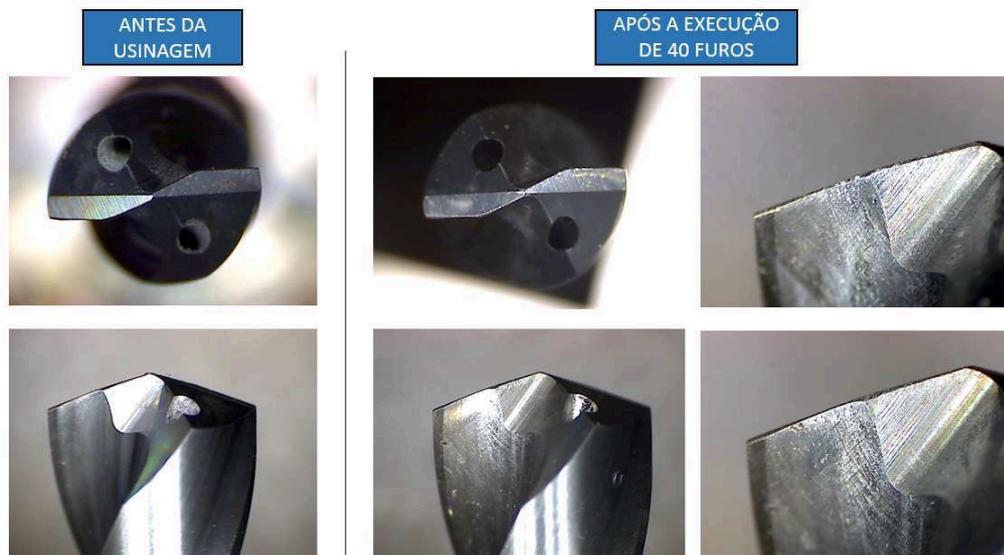
**FIGURA 26 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #1**



Fonte: Autor

Na Figura 27 pode se observar o estado da ferramenta de corte (broca) antes e após a execução dos furos do teste #1. Nota-se que a ferramenta apresenta um leve acúmulo do material usinado (aresta postiça) em suas arestas de corte principal e secundária. O desgaste de flanco ainda não pode ser visualmente notado e a ferramenta também não apresenta sinais de lascamento.

**FIGURA 27 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #1**

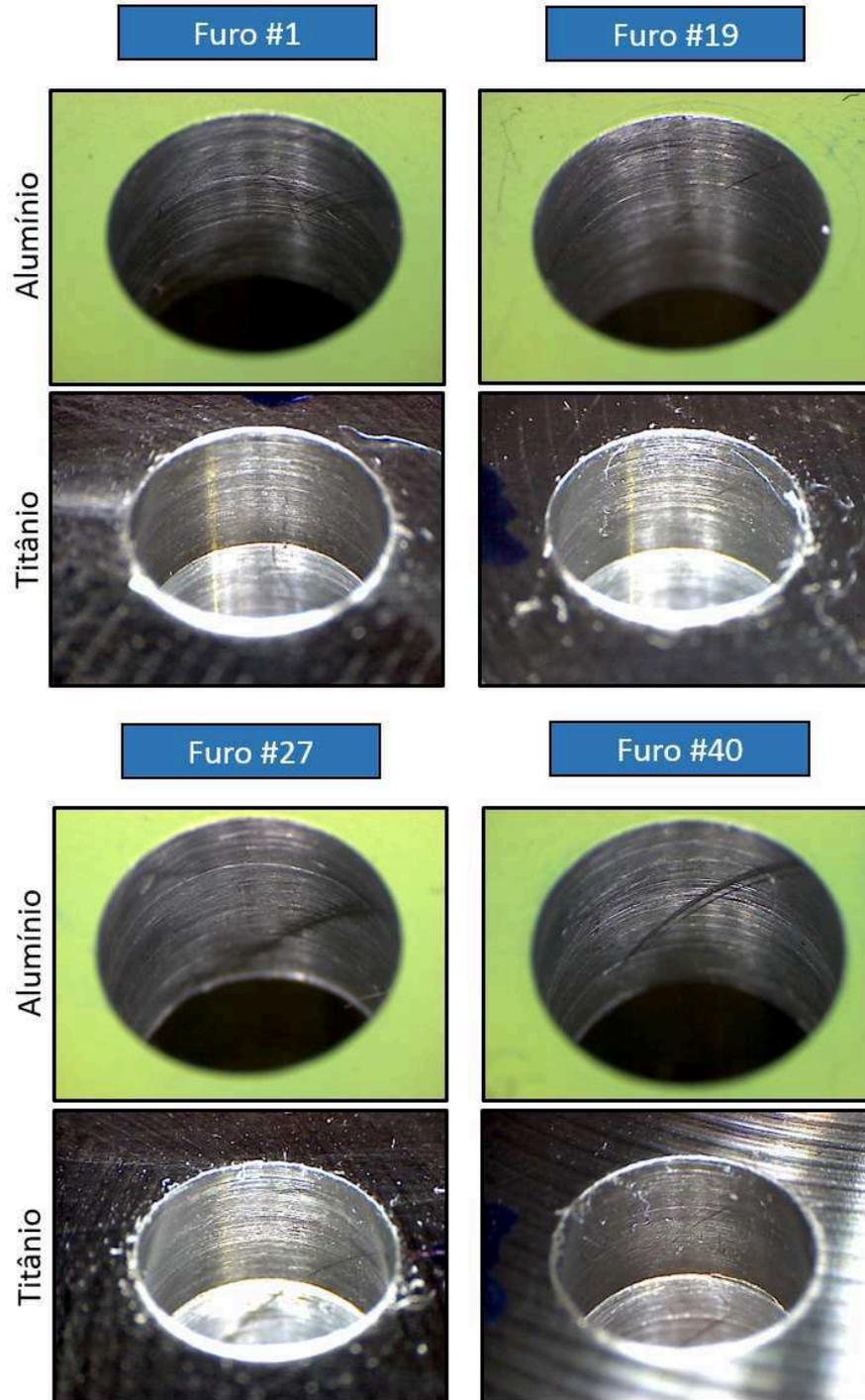


Fonte: Autor

Na Figura 28 é possível identificar o acabamento e o aspecto visual de aproximadamente 10% dos furos realizados com os parâmetros de corte do teste #1, estas imagens foram incluídas somente com o objetivo de manter o registro visual e não mensurável do teste realizado.

Nota-se visualmente um acabamento sem a presença de riscos e marcas.

**FIGURA 28 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #1**



Fonte: Autor

## 4.2 RESULTADO DO TESTE 2

A Tabela 5 mostra os diâmetros obtidos pela medição manual do teste 2.

**TABELA 5 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #2**

Furo nº	Alumínio		Titânio		Furo nº	Alumínio		Titânio	
	Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °		Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °
1	6,115	6,117	6,125	6,117	22	6,148	6,148	6,133	6,129
2	6,133	6,131	6,126	6,130	23	6,148	6,143	6,127	6,123
3	6,147	6,145	6,127	6,117	24	6,167	6,169	6,138	6,131
4	6,178	6,172	6,129	6,126	25	6,180	6,177	6,125	6,121
5	6,144	6,141	6,137	6,135	26	6,141	6,139	6,120	6,117
6	6,144	6,141	6,125	6,124	27	6,149	6,151	6,121	6,118
7	6,184	6,184	6,133	6,131	28	6,151	6,147	6,120	6,124
8	6,174	6,168	6,126	6,126	29	6,145	6,154	6,132	6,122
9	6,174	6,165	6,135	6,127	30	6,133	6,138	6,126	6,122
10	6,198	6,196	6,124	6,118	31	6,164	6,163	6,118	6,123
11	6,152	6,150	6,132	6,125	32	6,216	6,196	6,128	6,127
12	6,138	6,132	6,130	6,122	33	6,161	6,167	6,120	6,124
13	6,170	6,177	6,120	6,124	34	6,151	6,156	6,135	6,131
14	6,163	6,164	6,120	6,119	35	6,191	6,188	6,120	6,119
15	6,173	6,165	6,136	6,130	36	6,144	6,141	6,133	6,128
16	6,142	6,145	6,134	6,131	37	6,158	6,149	6,122	6,115
17	6,149	6,145	6,120	6,120	38	6,172	6,161	6,130	6,120
18	6,145	6,149	6,128	6,124	39	6,154	6,148	6,127	6,119
19	6,142	6,146	6,127	6,122	40	6,151	6,144	6,134	6,132
20	6,152	6,138	6,128	6,132	41	6,149	6,143	6,128	6,130
21	6,137	6,137	6,123	6,117	42	6,154	6,143	6,124	6,122

Fonte: Autor

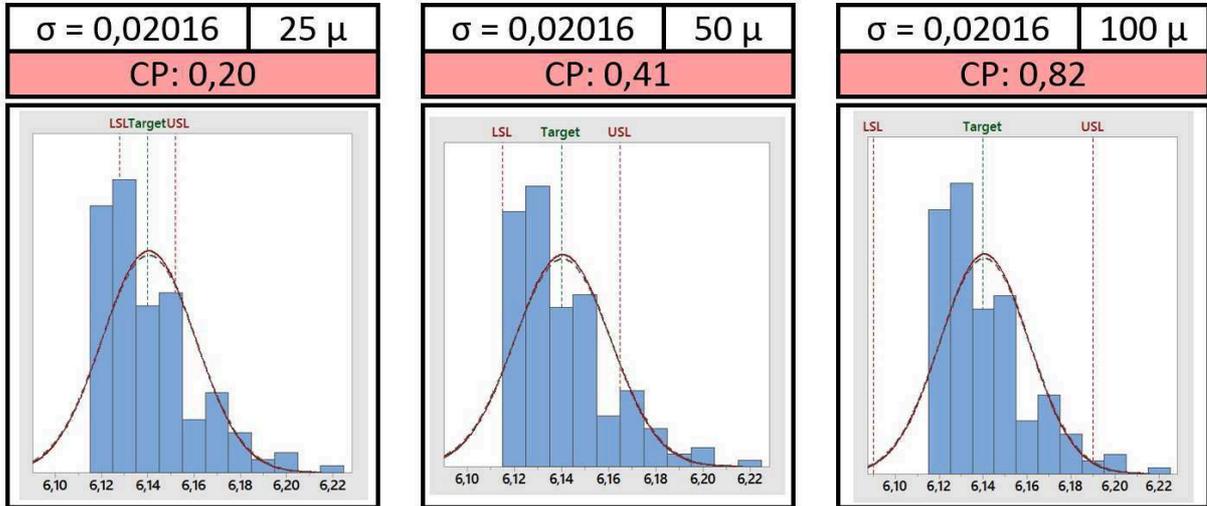
Nota-se que os diâmetros encontrados na medição não se demonstram estáveis, possuindo uma média de 6,140mm e seus valores estão variando entre 6,115mm e 6,216mm, que está de 17 a 218 microns acima do diâmetro nominal da ferramenta.

Salienta-se que os diâmetros encontrados no titânio se demonstram de certa forma estáveis, seus valores estão variando entre 6,115mm e 6,138mm e possuem, portanto, uma amplitude de 23 microns. O alumínio por sua vez, apresentou resultados negativos, variando entre 6,132mm e 6,216mm, apresentando, portanto, uma amplitude de 84 microns, aproximadamente 4 vezes maior que no titânio.

Em relação a performance da ferramenta, ela apresenta um tempo de furação de aproximadamente 20,5 segundos por furo em contato com o material.

A Figura 29 ilustra os gráficos obtidos no processo de furação e seus respectivos índices de CP (PCR) que foram calculados levando em consideração as tolerâncias do furo de 25, 50 e 100 microns de diâmetro.

**FIGURA 29 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #2**



Fonte: Autor

Na Figura 30 pode se observar o estado da ferramenta de corte (broca) antes e após a execução dos furos do teste #2. Nota-se que a ferramenta apresenta um leve acúmulo do material usinado (aresta postiça) em suas arestas de corte principal e secundária. O desgaste de flanco ainda não pode ser visualmente notado e a ferramenta também não apresenta sinais de lascamento.

**FIGURA 30 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #2**

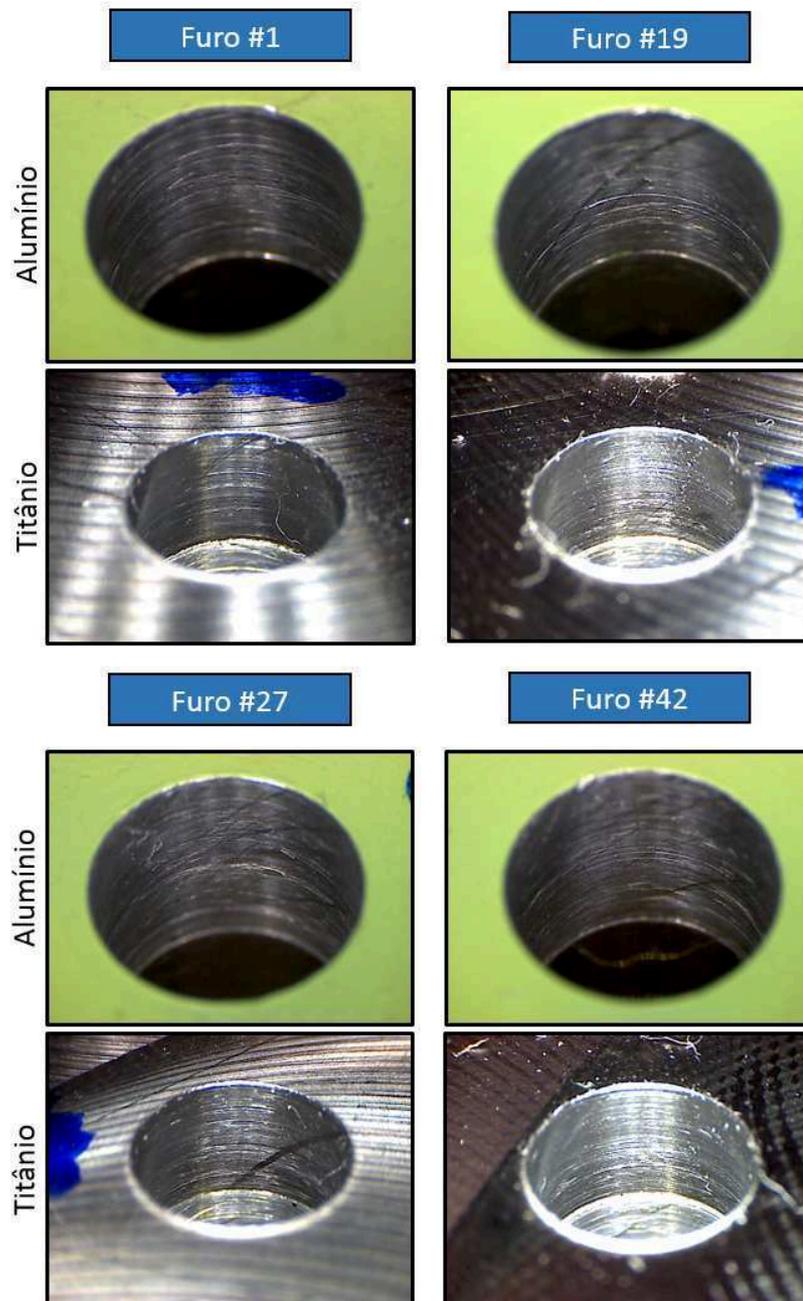


Fonte: Autor

Na Figura 31 é possível identificar o acabamento e o aspecto visual de aproximadamente 10% dos furos realizados com os parâmetros de corte do teste #2, estas imagens foram incluídas somente com o objetivo de manter o registro visual e não mensurável do teste realizado.

Nota-se visualmente um acabamento com a sutil presença de riscos e marcas, principalmente no alumínio, causadas durante a evacuação do cavaco do titânio e pelo aumento do parâmetro de avanço ( $F_n$ ) no processo.

**FIGURA 31 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #2**



Fonte: Autor

### 4.3 RESULTADO DO TESTE 3

A Tabela 6 mostra os diâmetros obtidos pela medição manual do teste 3.

**TABELA 6 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #3**

Furo nº	Alumínio		Titânio		Furo nº	Alumínio		Titânio	
	Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °		Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °
1	6,127	6,127	6,125	6,122	22	6,150	6,159	6,114	6,116
2	6,164	6,149	6,117	6,113	23	6,211	6,210	6,130	6,132
3	6,148	6,151	6,120	6,122	24	6,179	6,166	6,114	6,119
4	6,165	6,161	6,122	6,121	25	6,160	6,165	6,124	6,124
5	6,164	6,167	6,124	6,124	26	6,183	6,162	6,114	6,120
6	6,159	6,157	6,115	6,115	27	6,154	6,151	6,120	6,121
7	6,155	6,168	6,121	6,119	28	6,166	6,171	6,125	6,126
8	6,135	6,141	6,120	6,115	29	6,167	6,170	6,145	6,146
9	6,134	6,147	6,124	6,119	30	6,170	6,190	6,124	6,120
10	6,164	6,166	6,128	6,130	31	6,165	6,172	6,120	6,119
11	6,173	6,179	6,122	6,115	32	6,158	6,168	6,126	6,126
12	6,144	6,156	6,119	6,119	33	6,172	6,169	6,118	6,116
13	6,162	6,173	6,118	6,118	34	6,161	6,155	6,110	6,115
14	6,155	6,160	6,117	6,122	35	6,160	6,167	6,125	6,119
15	6,174	6,158	6,125	6,124	36	6,177	6,174	6,122	6,120
16	6,167	6,171	6,115	6,119	37	6,146	6,146	6,126	6,119
17	6,158	6,163	6,120	6,120	38	6,190	6,194	6,118	6,123
18	6,205	6,219	6,120	6,117	39	6,173	6,178	6,123	6,112
19	6,142	6,147	6,121	6,117	40	6,162	6,169	6,112	6,119
20	6,188	6,182	6,118	6,115	41	6,182	6,190	6,125	6,122
21	6,191	6,176	6,126	6,125	42	6,160	6,163	6,115	6,117

Fonte: Autor

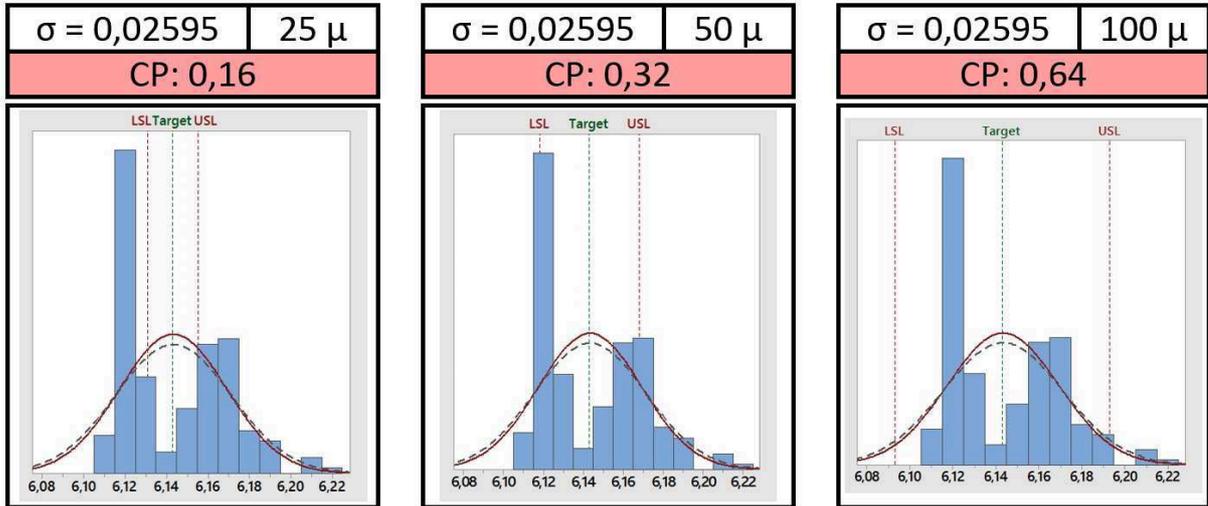
Nota-se que os diâmetros encontrados na medição não se demonstram estáveis, possuindo uma média de 6,143mm e seus valores estão variando entre 6,110mm e 6,219mm, que está de 12 a 221 microns acima do diâmetro nominal da ferramenta.

Salienta-se que os diâmetros encontrados no titânio estão variando entre 6,110mm e 6,146mm e possuem, portanto, uma amplitude de 36 microns. O alumínio por sua vez, apresentou resultados negativos, variando entre 6,127mm e 6,219mm, apresentando, portanto, uma amplitude de 92 microns, aproximadamente 3 vezes maior que no titânio.

Em relação a performance da ferramenta, ela apresenta um tempo de furação de aproximadamente 13,7 segundos por furo em contato com o material.

A Figura 32 ilustra os gráficos obtidos no processo de furação e seus respectivos índices de CP (PCR) que foram calculados levando em consideração as tolerâncias do furo de 25, 50 e 100 microns de diâmetro.

**FIGURA 32 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #3**



Fonte: Autor

Na Figura 33 pode se observar o estado da ferramenta de corte (broca) antes e após a execução dos furos do teste #3. Nota-se que a ferramenta apresenta acúmulo do material usinado (aresta postiça) em suas arestas de corte principal e secundária. O desgaste de flanco pode ser visualmente notado e apresenta sinais de micro lascamentos em sua aresta de corte primária e secundária.

**FIGURA 33 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #3**

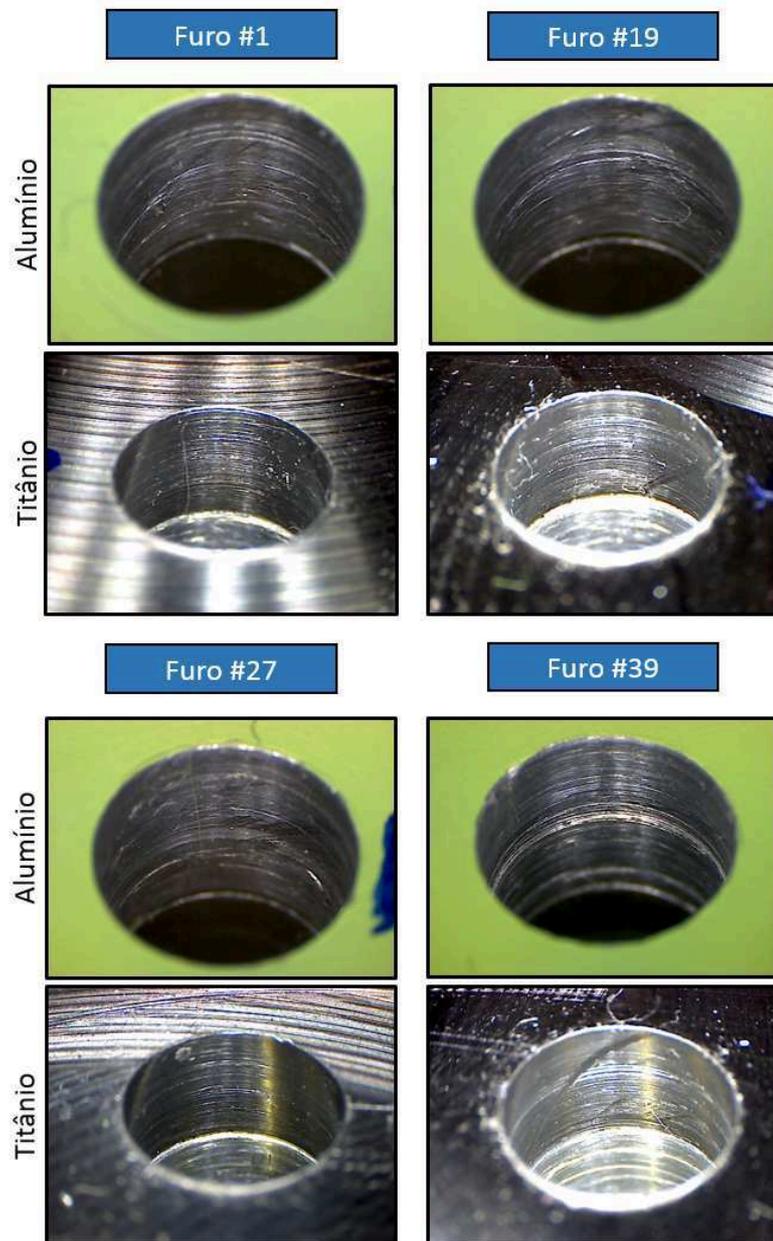


Fonte: Autor

Na Figura 34 é possível identificar o acabamento e o aspecto visual de aproximadamente 10% dos furos realizados com os parâmetros de corte do teste #3, estas imagens foram incluídas somente com o objetivo de manter o registro visual e não mensurável do teste realizado.

Nota-se visualmente um acabamento com a presença de riscos e marcas, principalmente no alumínio, causadas durante a evacuação do cavaco do titânio e pelo aumento do parâmetro de avanço ( $F_n$ ) no processo, que consequentemente aumenta também a espessura do cavaco gerado.

**FIGURA 34 – ASPECTO VISUAL DOS FURROS OBTIDOS NO TESTE #3**



Fonte: Autor

#### 4.4 RESULTADO DO TESTE 4

A Tabela 7 mostra os diâmetros obtidos pela medição manual do teste 4.

**TABELA 7 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #4**

Furo nº	Alumínio		Titânio		Furo nº	Alumínio		Titânio	
	Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °		Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °
1	6,124	6,125	6,118	6,117	22	6,145	6,141	6,118	6,116
2	6,136	6,135	6,125	6,122	23	6,153	6,143	6,106	6,110
3	6,148	6,143	6,120	6,120	24	6,142	6,140	6,115	6,110
4	6,151	6,147	6,125	6,126	25	6,163	6,161	6,141	6,132
5	6,153	6,146	6,128	6,127	26	6,147	6,149	6,130	6,122
6	6,146	6,150	6,135	6,127	27	6,148	6,152	6,131	6,127
7	6,169	6,164	6,128	6,123	28	6,153	6,164	6,107	6,117
8	6,167	6,160	6,133	6,132	29	6,142	6,140	6,128	6,123
9	6,162	6,156	6,120	6,113	30	6,166	6,161	6,126	6,122
10	6,161	6,156	6,125	6,123	31	6,191	6,197	6,126	6,128
11	6,174	6,164	6,128	6,121	32	6,149	6,143	6,113	6,115
12	6,164	6,156	6,128	6,124	33	6,173	6,144	6,128	6,128
13	6,155	6,148	6,123	6,115	34	6,141	6,151	6,113	6,118
14	6,181	6,174	6,125	6,119	35	6,158	6,165	6,132	6,132
15	6,169	6,158	6,122	6,113	36	6,169	6,166	6,119	6,108
16	6,163	6,166	6,131	6,129	37	6,164	6,166	6,121	6,119
17	6,175	6,172	6,131	6,128	38	6,160	6,138	6,123	6,126
18	6,168	6,177	6,122	6,119	39	6,155	6,155	6,124	6,120
19	6,169	6,158	6,124	6,115	40	6,184	6,182	6,135	6,131
20	6,164	6,152	6,108	6,112	41	6,178	6,169	6,126	6,126
21	6,188	6,191	6,124	6,117	42	6,162	6,160	6,125	6,130

Fonte: Autor

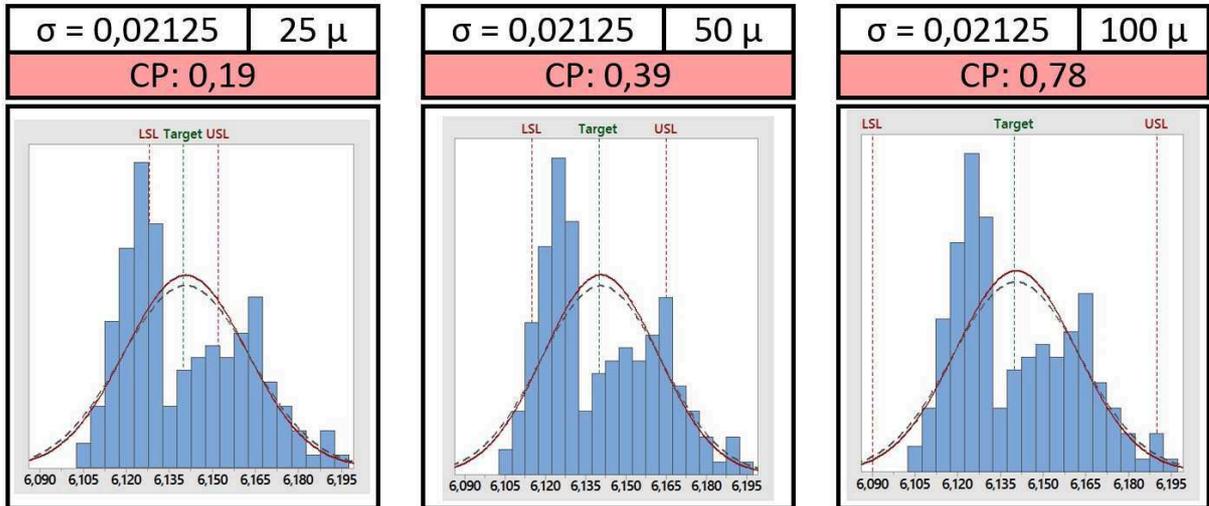
Nota-se que os diâmetros encontrados na medição não se demonstram estáveis, possuindo uma média de 6,140mm e seus valores estão variando entre 6,106mm e 6,197mm, que está de 8 a 199 microns acima do diâmetro nominal da ferramenta.

Salienta-se que os diâmetros encontrados no titânio estão variando entre 6,106m e 6,141mm e possuem, portanto, uma amplitude de 35 microns. O alumínio por sua vez, apresentou resultados negativos, variando entre 6,124mm e 6,197mm, apresentando, portanto, uma amplitude de 73 microns, aproximadamente 2 vezes maior que no titânio.

Em relação a performance da ferramenta, ela apresenta um tempo de furação de aproximadamente 18,2 segundos por furo em contato com o material.

A Figura 35 ilustra os gráficos obtidos no processo de furação e seus respectivos índices de CP (PCR) que foram calculados levando em consideração as tolerâncias do furo de 25, 50 e 100 microns de diâmetro.

**FIGURA 35 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #4**



Fonte: Autor

Na Figura 36 pode se observar o estado da ferramenta de corte (broca) antes e após a execução dos furos do teste #4. Nota-se que a ferramenta apresenta pouco acúmulo do material usinado (aresta postiça) em suas arestas de corte principal e secundária. O desgaste de flanco não pode ser visualmente notado e a ferramenta também não apresenta sinais de lascamentos.

**FIGURA 36 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #4**

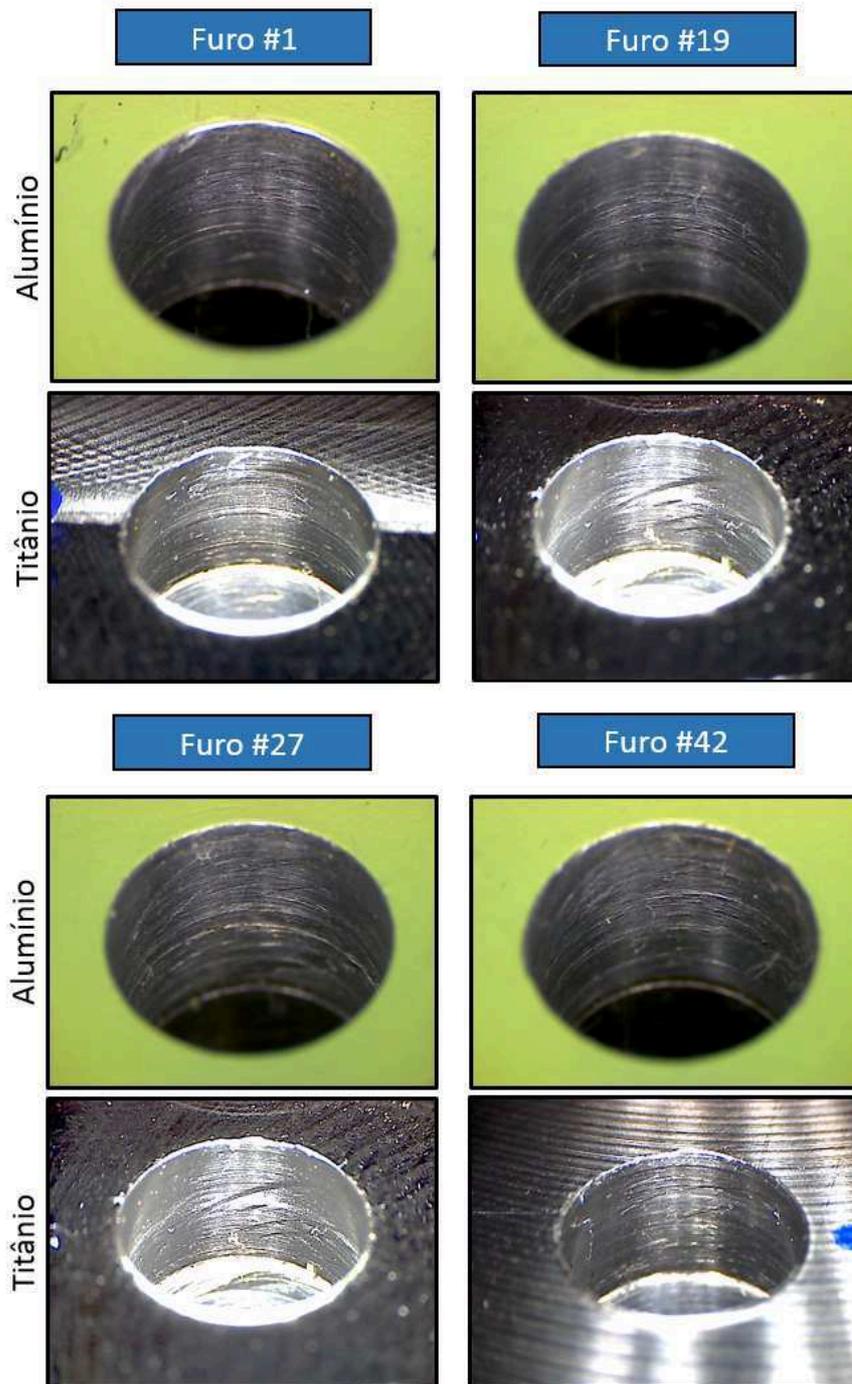


Fonte: Autor

Na Figura 37 é possível identificar o acabamento e o aspecto visual de aproximadamente 10% dos furos realizados com os parâmetros de corte do teste #4, estas imagens foram incluídas somente com o objetivo de manter o registro visual e não mensurável do teste realizado.

Nota-se visualmente um acabamento sem a presença de riscos e marcas.

**FIGURA 37 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #4**



Fonte: Autor

#### 4.5 RESULTADO DO TESTE 5

A Tabela 8 mostra os diâmetros obtidos pela medição manual do teste 5.

**TABELA 8 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #5**

Furo nº	Alumínio		Titânio		Furo nº	Alumínio		Titânio	
	Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °		Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °
1	6,126	6,126	6,136	6,135	22	6,176	6,168	6,125	6,125
2	6,149	6,150	6,139	6,140	23	6,181	6,182	6,137	6,133
3	6,150	6,145	6,134	6,132	24	6,185	6,172	6,131	6,137
4	6,154	6,160	6,128	6,126	25	6,180	6,180	6,136	6,128
5	6,168	6,171	6,130	6,132	26	6,175	6,173	6,132	6,135
6	6,175	6,172	6,128	6,130	27	6,205	6,208	6,121	6,127
7	6,171	6,176	6,130	6,135	28	6,152	6,155	6,135	6,129
8	6,162	6,157	6,132	6,126	29	6,176	6,164	6,115	6,124
9	6,164	6,146	6,124	6,127	30	6,182	6,187	6,132	6,132
10	6,172	6,156	6,124	6,115	31	6,173	6,161	6,140	6,134
11	6,180	6,201	6,140	6,128	32	6,203	6,193	6,135	6,135
12	6,188	6,184	6,131	6,117	33	6,145	6,142	6,127	6,129
13	6,159	6,158	6,120	6,122	34	6,129	6,137	6,124	6,115
14	6,166	6,171	6,130	6,128	35	6,155	6,163	6,125	6,123
15	6,170	6,174	6,132	6,130	36	6,153	6,148	6,129	6,119
16	6,166	6,174	6,136	6,133	37	6,178	6,195	6,137	6,134
17	6,182	6,171	6,132	6,132	38	6,164	6,168	6,126	6,126
18	6,230	6,228	6,157	6,151	39	6,136	6,143	6,115	6,117
19	6,161	6,162	6,129	6,137	40	6,187	6,184	6,115	6,119
20	6,178	6,176	6,133	6,138	41	6,181	6,179	6,115	6,115
21	6,174	6,158	6,145	6,140	42	6,155	6,165	6,126	6,120

Fonte: Autor

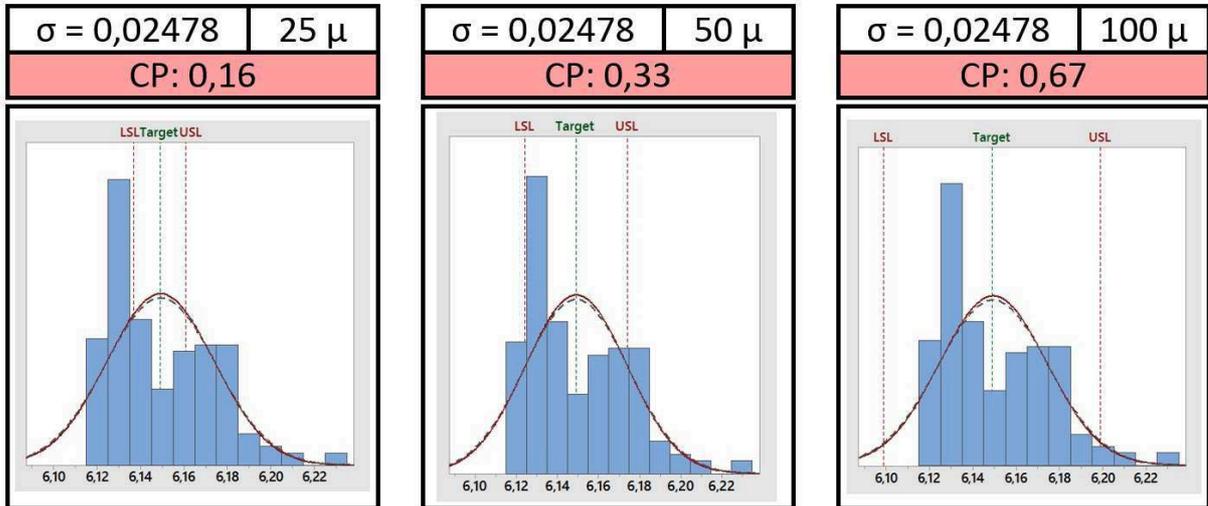
Nota-se que os diâmetros encontrados na medição não se demonstram estáveis, possuindo uma média de 6,149mm e seus valores estão variando entre 6,115mm e 6,230mm, que está de 17 a 232 microns acima do diâmetro nominal da ferramenta.

Salienta-se que os diâmetros encontrados no titânio estão variando entre 6,115m e 6,157mm e possuem, portanto, uma amplitude de 42 microns. O alumínio por sua vez, apresentou resultados negativos, variando entre 6,126mm e 6,230mm, apresentando, portanto, uma amplitude de 94 microns, aproximadamente 2 vezes maior que no titânio.

Em relação a performance da ferramenta, ela apresenta um tempo de furação de aproximadamente 11,9 segundos por furo em contato com o material.

A Figura 38 ilustra os gráficos obtidos no processo de furação e seus respectivos índices de CP (PCR) que foram calculados levando em consideração as tolerâncias do furo de 25, 50 e 100 microns de diâmetro.

**FIGURA 38 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #5**



Fonte: Autor

Na Figura 39 pode se observar o estado da ferramenta de corte (broca) antes e após a execução dos furos do teste #5. Nota-se que a ferramenta apresenta pouco acúmulo do material usinado (aresta postiça) em suas arestas de corte principal e secundária. O desgaste de flanco não pode ser visualmente notado, porém a ferramenta apresenta sinais de micro lascamentos em sua aresta de corte secundária.

**FIGURA 39 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #5**

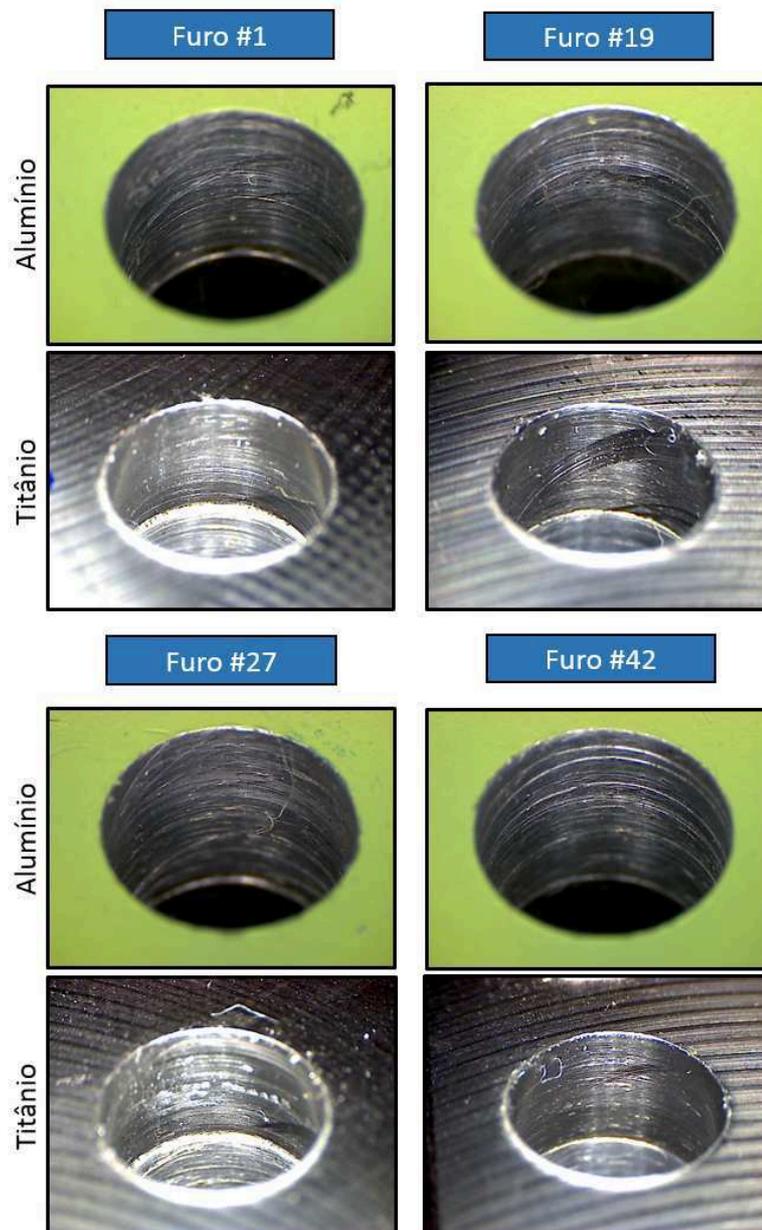


Fonte: Autor

Na Figura 40 é possível identificar o acabamento e o aspecto visual de aproximadamente 10% dos furos realizados com os parâmetros de corte do teste #5, estas imagens foram incluídas somente com o objetivo de manter o registro visual e não mensurável do teste realizado.

Nota-se visualmente um acabamento com a presença de riscos e marcas, principalmente no alumínio, causadas durante a evacuação do cavaco do titânio e pelo aumento do parâmetro de avanço ( $F_n$ ) no processo, que consequentemente aumenta também a espessura do cavaco gerado.

**FIGURA 40 – ASPECTO VISUAL DOS FURROS OBTIDOS NO TESTE #5**



Fonte: Autor

#### 4.6 RESULTADO DO TESTE 6

A Tabela 9 mostra os diâmetros obtidos pela medição manual do teste 6.

**TABELA 9 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #6**

Furo nº	Alumínio		Titânio		Furo nº	Alumínio		Titânio	
	Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °		Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °
1	6,120	6,121	6,130	6,128	22	6,167	6,191	6,134	6,122
2	6,154	6,150	6,147	6,146	23	6,188	6,194	6,126	6,130
3	6,192	6,182	6,133	6,128	24	6,166	6,173	6,139	6,134
4	6,156	6,143	6,124	6,123	25	6,230	6,232	6,128	6,128
5	6,198	6,185	6,130	6,124	26	6,172	6,174	6,127	6,133
6	6,158	6,166	6,128	6,120	27	6,159	6,158	6,128	6,119
7	6,151	6,159	6,134	6,138	28	6,148	6,158	6,123	6,132
8	6,207	6,195	6,132	6,132	29	6,172	6,168	6,130	6,119
9	6,153	6,166	6,127	6,126	30	6,176	6,186	6,160	6,160
10	6,155	6,168	6,122	6,121	31	6,174	6,176	6,127	6,121
11	6,191	6,202	6,127	6,128	32	6,148	6,149	6,140	6,134
12	6,199	6,204	6,128	6,119	33	6,162	6,155	6,135	6,135
13	6,222	6,222	6,128	6,125	34	6,166	6,172	6,127	6,127
14	6,153	6,147	6,122	6,120	35	6,184	6,182	6,120	6,122
15	6,167	6,154	6,120	6,119	36	6,180	6,184	6,129	6,128
16	6,159	6,165	6,129	6,127	37	6,165	6,170	6,128	6,130
17	6,171	6,163	6,120	6,119	38	6,171	6,184	6,138	6,129
18	6,167	6,170	6,147	6,147	39	6,190	6,191	6,128	6,115
19	6,170	6,174	6,140	6,132	40	6,152	6,148	6,125	6,122
20	6,181	6,182	6,146	6,142	41	6,163	6,171	6,132	6,119
21	6,194	6,195	6,135	6,122	42	6,160	6,168	6,133	6,132

Fonte: Autor

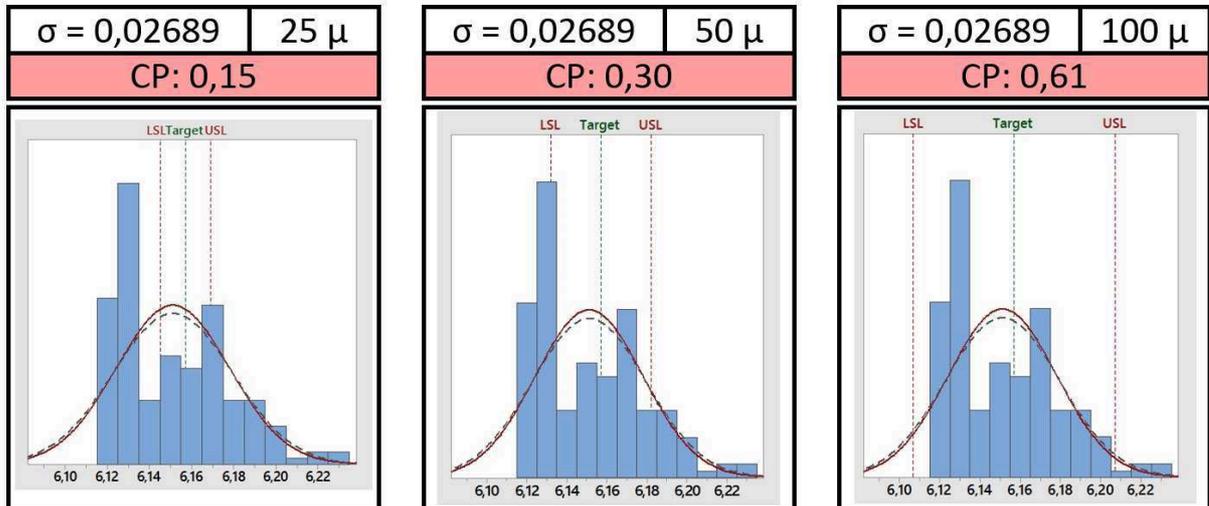
Nota-se que os diâmetros encontrados na medição não se demonstram estáveis, possuindo uma média de 6,151mm e seus valores estão variando entre 6,115mm e 6,232mm, que está de 17 a 234 microns acima do diâmetro nominal da ferramenta.

Salienta-se que os diâmetros encontrados no titânio estão variando entre 6,115m e 6,160mm e possuem, portanto, uma amplitude de 45 microns. O alumínio por sua vez, apresentou resultados negativos, variando entre 6,120mm e 6,232mm, apresentando, portanto, uma amplitude de 112 microns, aproximadamente 2,5 vezes maior que no titânio.

Em relação a performance da ferramenta, ela apresenta um tempo de furação de aproximadamente 8,4 segundos por furo em contato com o material.

A Figura 41 ilustra os gráficos obtidos no processo de furação e seus respectivos índices de CP (PCR) que foram calculados levando em consideração as tolerâncias do furo de 25, 50 e 100 microns de diâmetro.

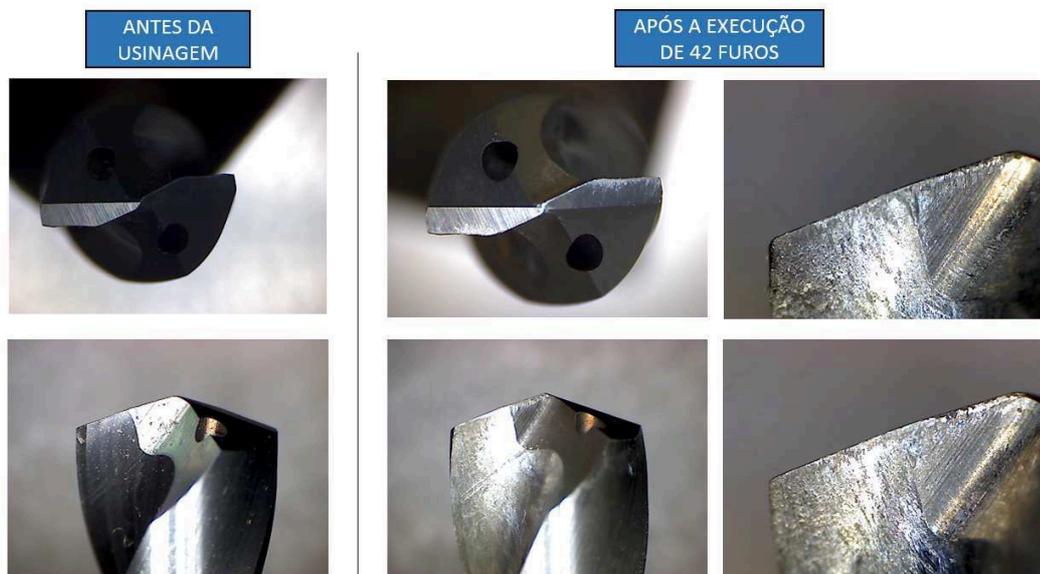
**FIGURA 41 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #6**



Fonte: Autor

Na Figura 42 pode se observar o estado da ferramenta de corte (broca) antes e após a execução dos furos do teste #6. Nota-se que a ferramenta apresenta acúmulo do material usinado (aresta postiça) em suas arestas de corte principal e secundária. O desgaste de flanco pode ser visualmente notado e a ferramenta também apresenta sinais de micro lascamentos em sua aresta de corte secundária.

**FIGURA 42 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #6**

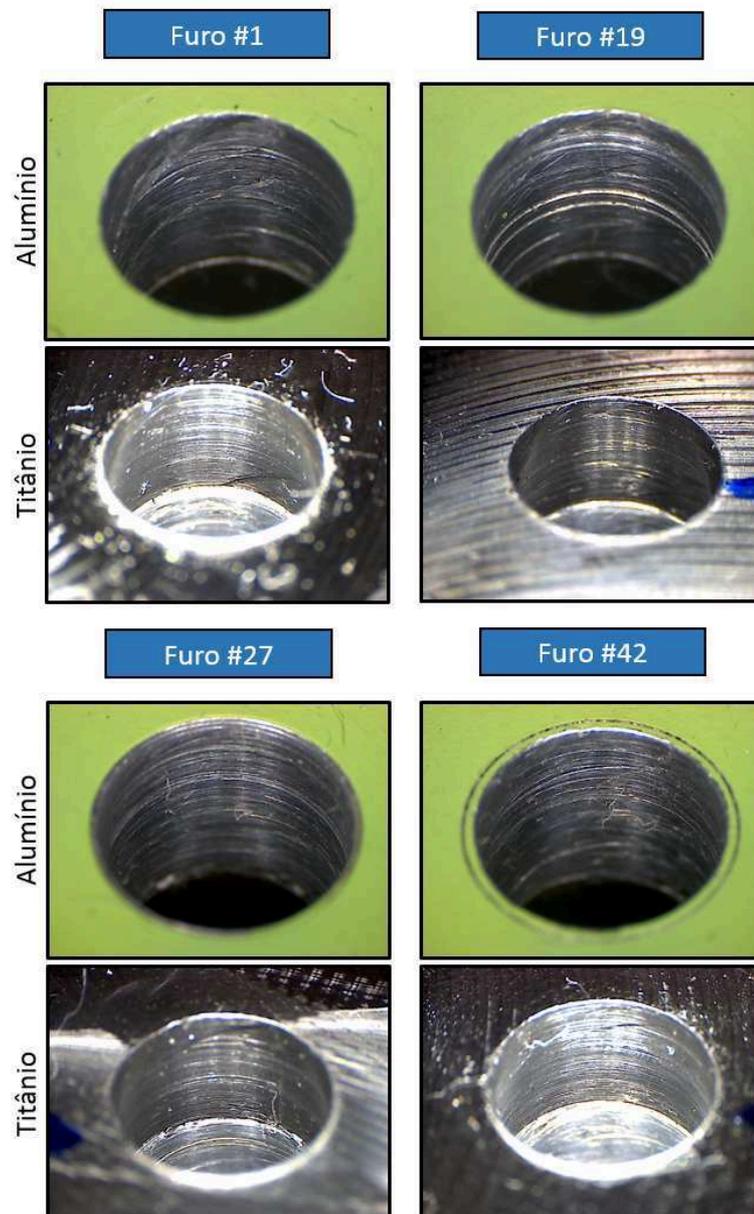


Fonte: Autor

Na Figura 43 é possível identificar o acabamento e o aspecto visual de aproximadamente 10% dos furos realizados com os parâmetros de corte do teste #6, estas imagens foram incluídas somente com o objetivo de manter o registro visual e não mensurável do teste realizado.

Nota-se visualmente um acabamento com a presença de riscos e marcas profundas, principalmente no alumínio conforme mostra o furo 19, causadas durante a evacuação do cavaco do titânio e pelo aumento do parâmetro de avanço ( $F_n$ ) no processo, que conseqüentemente aumenta também a espessura do cavaco gerado.

**FIGURA 43 – ASPECTO VISUAL DOS FURROS OBTIDOS NO TESTE #6**



Fonte: Autor

#### 4.7 RESULTADO DO TESTE 7

A Tabela 10 mostra os diâmetros obtidos pela medição manual do teste 7.

**TABELA 10 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #7**

Furo nº	Alumínio		Titânio		Furo nº	Alumínio		Titânio	
	Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °		Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °
1	6,123	6,120	6,131	6,131	22	6,218	6,217	6,138	6,142
2	6,172	6,175	6,137	6,139	23	6,222	6,231	6,134	6,132
3	6,166	6,163	6,136	6,140	24	6,223	6,217	6,138	6,133
4	6,143	6,141	6,128	6,131	25	6,240	6,237	6,144	6,152
5	6,157	6,145	6,134	6,137	26	6,224	6,216	6,129	6,129
6	6,182	6,185	6,133	6,135	27	6,155	6,169	6,134	6,145
7	6,135	6,147	6,138	6,128	28	6,185	6,183	6,150	6,149
8	6,159	6,160	6,138	6,133	29	6,205	6,215	6,129	6,132
9	6,167	6,159	6,132	6,133	30	6,206	6,210	6,133	6,136
10	6,191	6,188	6,136	6,128	31	6,179	6,175	6,136	6,144
11	6,183	6,190	6,130	6,128	32	6,196	6,193	6,134	6,132
12	6,202	6,191	6,136	6,137	33	6,178	6,178	6,135	6,135
13	6,210	6,197	6,146	6,144	34	6,195	6,187	6,131	6,129
14	6,198	6,190	6,133	6,140	35	6,188	6,187	6,149	6,141
15	6,210	6,220	6,141	6,132	36	6,220	6,216	6,132	6,129
16	6,157	6,150	6,140	6,141	37	6,215	6,208	6,120	6,127
17	6,207	6,202	6,140	6,137	38	6,153	6,152	6,124	6,126
18	6,212	6,201	6,128	6,135	39	6,176	6,179	6,133	6,138
19	6,204	6,203	6,142	6,145	40	6,230	6,220	6,145	6,136
20	6,208	6,214	6,136	6,132	41	6,217	6,215	6,139	6,155
21	6,225	6,220	6,136	6,139	42	6,196	6,201	6,141	6,139

Fonte: Autor

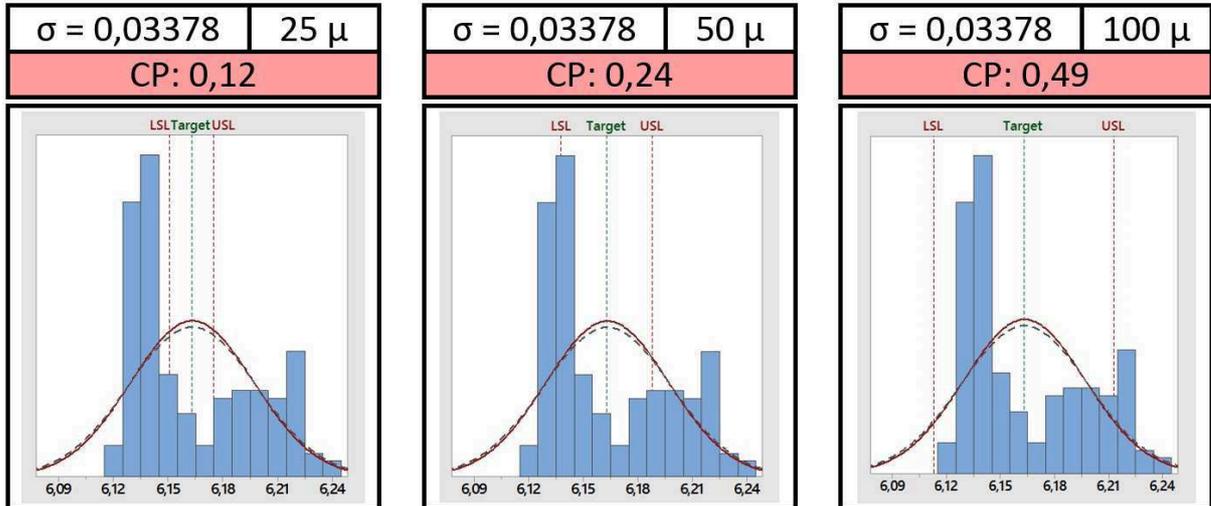
Nota-se que os diâmetros encontrados na medição não se demonstram estáveis, possuindo uma média de 6,163mm e seus valores estão variando entre 6,120mm e 6,240mm, que está de 22 a 242 microns acima do diâmetro nominal da ferramenta.

Salienta-se que os diâmetros encontrados no titânio estão variando entre 6,120m e 6,155mm e possuem, portanto, uma amplitude de 35 microns. O alumínio por sua vez, apresentou resultados negativos, variando entre 6,120mm e 6,240mm, apresentando, portanto, uma amplitude de 120 microns, aproximadamente 3,5 vezes maior que no titânio.

Em relação a performance da ferramenta, ela apresenta um tempo de furação de aproximadamente 12,8 segundos por furo em contato com o material.

A Figura 44 ilustra os gráficos obtidos no processo de furação e seus respectivos índices de CP (PCR) que foram calculados levando em consideração as tolerâncias do furo de 25, 50 e 100 microns de diâmetro.

**FIGURA 44 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #7**



Fonte: Autor

Na Figura 45 pode se observar o estado da ferramenta de corte (broca) antes e após a execução dos furos do teste #7. Nota-se que a ferramenta apresenta pouco acúmulo do material usinado (aresta postiça) em suas arestas de corte principal e secundária. O desgaste de flanco pode ser visualmente notado e a ferramenta apresenta sinais de micro lascamentos em sua aresta de corte secundária.

**FIGURA 45 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #7**

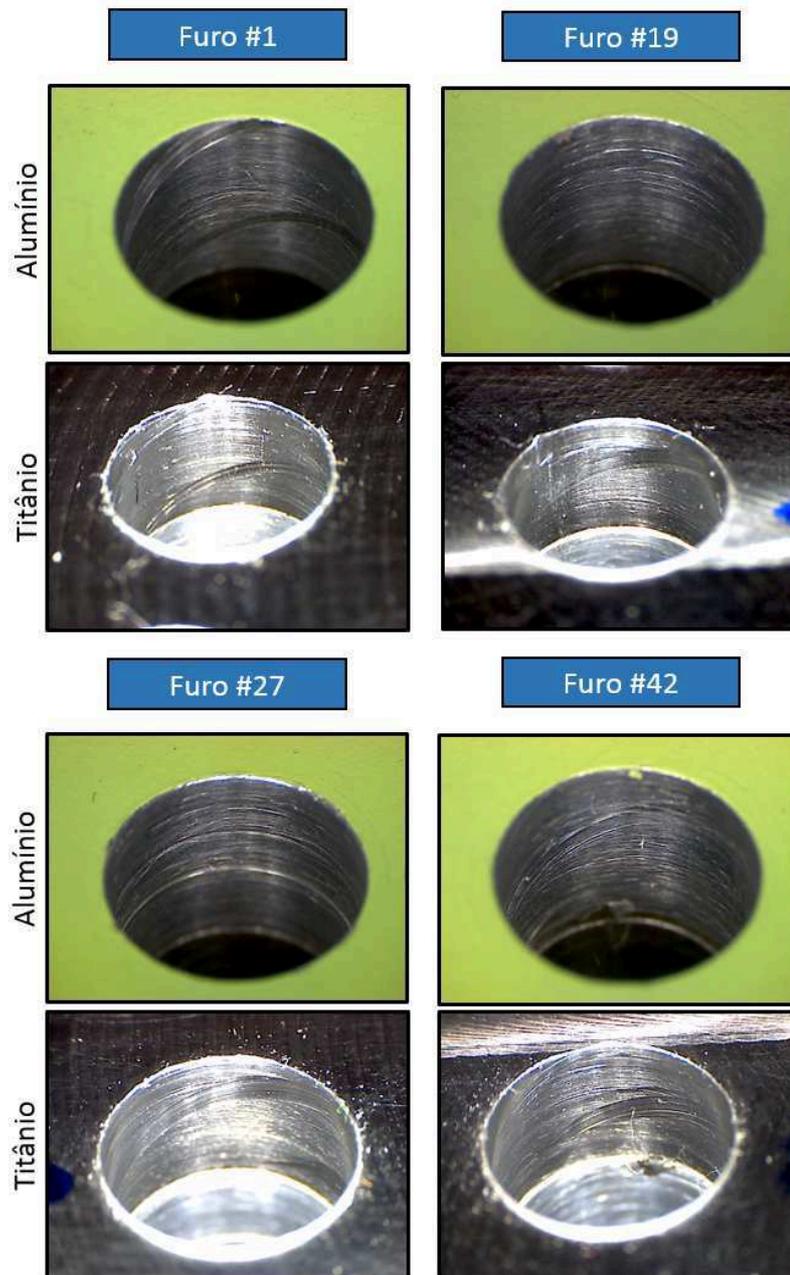


Fonte: Autor

Na Figura 46 é possível identificar o acabamento e o aspecto visual de aproximadamente 10% dos furos realizados com os parâmetros de corte do teste #7, estas imagens foram incluídas somente com o objetivo de manter o registro visual e não mensurável do teste realizado.

Nota-se visualmente um acabamento com a presença sutil de riscos e marcas, principalmente no alumínio conforme furo 27, causadas durante a evacuação do cavaco do titânio.

**FIGURA 46 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #7**



Fonte: Autor

#### 4.8 RESULTADO DO TESTE 8

A Tabela 11 mostra os diâmetros obtidos pela medição manual do teste 8.

**TABELA 11 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #8**

Furo nº	Alumínio		Titânio		Furo nº	Alumínio		Titânio	
	Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °		Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °
1	6,118	6,117	6,128	6,126	22	6,176	6,177	6,134	6,127
2	6,173	6,177	6,124	6,120	23	6,205	6,195	6,141	6,142
3	6,169	6,156	6,127	6,122	24	6,222	6,215	6,132	6,138
4	6,135	6,142	6,127	6,120	25	6,202	6,201	6,131	6,132
5	6,198	6,207	6,128	6,123	26	6,175	6,178	6,122	6,125
6	6,169	6,158	6,135	6,134	27	6,172	6,160	6,135	6,142
7	6,188	6,182	6,115	6,125	28	6,152	6,175	6,136	6,126
8	6,190	6,197	6,130	6,126	29	6,235	6,228	6,137	6,140
9	6,222	6,201	6,125	6,132	30	6,202	6,209	6,140	6,138
10	6,219	6,207	6,127	6,123	31	6,201	6,191	6,120	6,133
11	6,158	6,168	6,125	6,123	32	6,195	6,181	6,132	6,127
12	6,188	6,182	6,128	6,123	33	6,188	6,174	6,120	6,122
13	6,191	6,189	6,150	6,141	34	6,215	6,212	6,142	6,142
14	6,184	6,174	6,135	6,128	35	6,216	6,202	6,135	6,135
15	6,207	6,198	6,130	6,124	36	6,201	6,198	6,137	6,130
16	6,166	6,188	6,120	6,120	37	6,188	6,191	6,132	6,125
17	6,176	6,189	6,121	6,127	38	6,172	6,183	6,124	6,123
18	6,191	6,185	6,130	6,126	39	6,185	6,180	6,127	6,129
19	6,158	6,168	6,126	6,126	40	6,177	6,184	6,131	6,134
20	6,167	6,160	6,126	6,125	41	6,206	6,212	6,129	6,127
21	6,164	6,166	6,129	6,124	42	6,225	6,233	6,132	6,127

Fonte: Autor

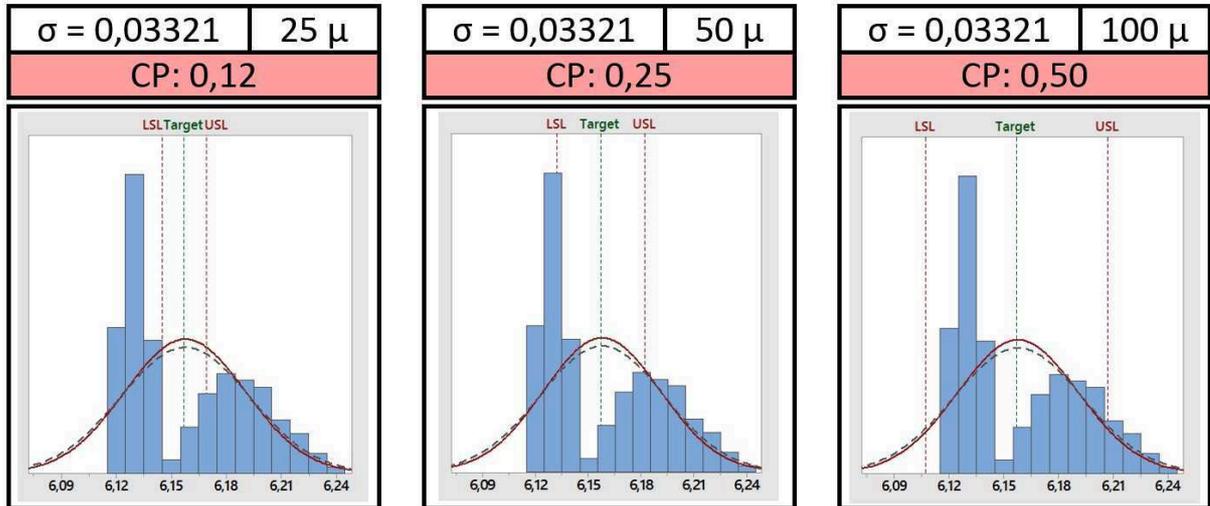
Nota-se que os diâmetros encontrados na medição não se demonstram estáveis, possuindo uma média de 6,157mm e seus valores estão variando entre 6,115mm e 6,235mm, que está de 17 a 237 microns acima do diâmetro nominal da ferramenta.

Salienta-se que os diâmetros encontrados no titânio estão variando entre 6,115m e 6,150mm e possuem, portanto, uma amplitude de 35 microns. O alumínio por sua vez, apresentou resultados negativos, variando entre 6,117mm e 6,235mm, apresentando, portanto, uma amplitude de 118 microns, aproximadamente 3,5 vezes maior que no titânio.

Em relação a performance da ferramenta, ela apresenta um tempo de furação de aproximadamente 8,7 segundos por furo em contato com o material.

A Figura 47 ilustra os gráficos obtidos no processo de furação e seus respectivos índices de CP (PCR) que foram calculados levando em consideração as tolerâncias do furo de 25, 50 e 100 microns de diâmetro.

**FIGURA 47 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #8**



Fonte: Autor

Na Figura 48 pode se observar o estado da ferramenta de corte (broca) antes e após a execução dos furos do teste #8. Nota-se que a ferramenta apresenta pouco acúmulo do material usinado (aresta postiça) em suas arestas de corte principal e secundária. O desgaste de flanco pode ser visualmente notado e a ferramenta apresenta sinais de micro lascamentos em sua aresta de corte secundária.

**FIGURA 48 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #8**

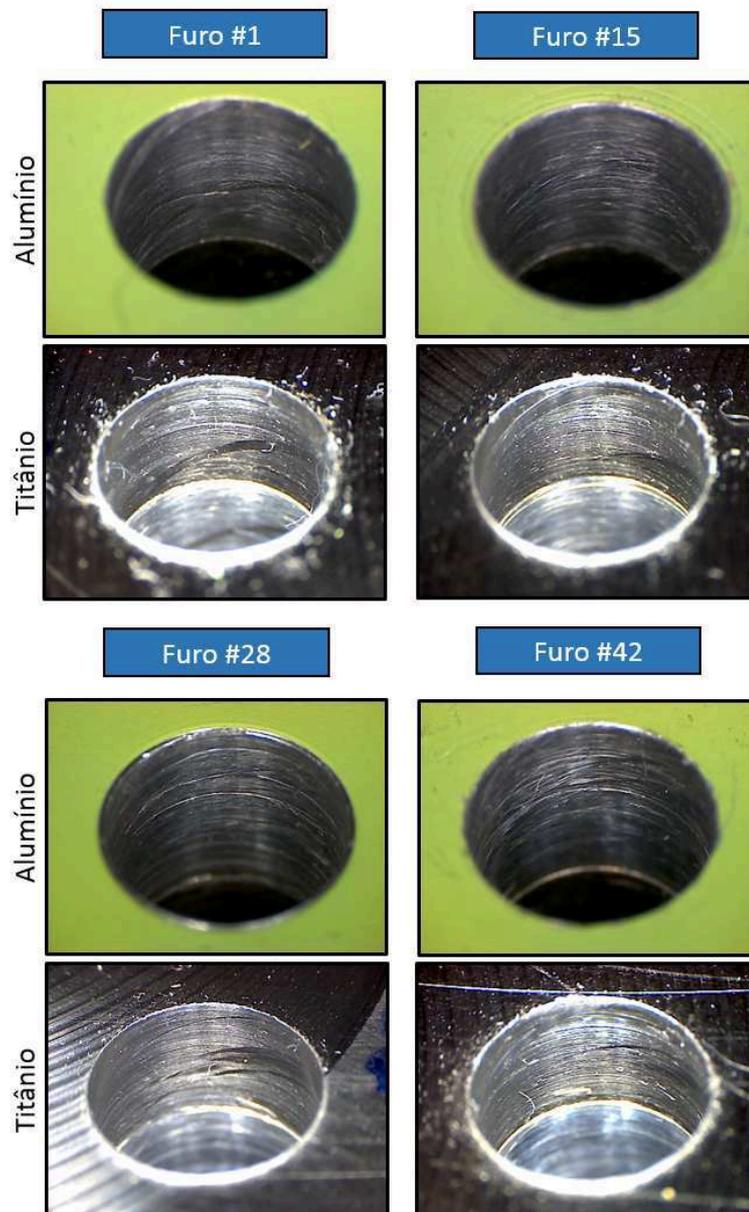


Fonte: Autor

Na Figura 49 é possível identificar o acabamento e o aspecto visual de aproximadamente 10% dos furos realizados com os parâmetros de corte do teste #8, estas imagens foram incluídas somente com o objetivo de manter o registro visual e não mensurável do teste realizado.

Nota-se visualmente um acabamento com a presença de riscos e marcas, principalmente no alumínio, causadas durante a evacuação do cavaco do titânio e pelo aumento do parâmetro de avanço ( $F_n$ ) no processo, que conseqüentemente aumenta também a espessura do cavaco gerado.

**FIGURA 49 – ASPECTO VISUAL DOS FUROS OBTIDOS NO TESTE #8**



Fonte: Autor

#### 4.9 RESULTADO DO TESTE 9

A Tabela 12 mostra os diâmetros obtidos pela medição manual do teste 9.

**TABELA 12 – DIÂMETROS ENCONTRADOS NA MEDIÇÃO DO TESTE #9**

Furo nº	Alumínio		Titânio		Furo nº	Alumínio		Titânio	
	Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °		Medição 0 °	Medição 90 °	Medição 0 °	Medição 90 °
1	6,118	6,120	6,120	6,117	22	6,235	6,235	6,129	6,123
2	6,151	6,169	6,122	6,121	23	6,200	6,203	6,140	6,132
3	6,211	6,204	6,115	6,122	24	6,250	6,254	6,141	6,129
4	6,187	6,201	6,122	6,122	25	6,202	6,198	6,124	6,118
5	6,189	6,195	6,117	6,119	26	6,160	6,160	6,126	6,127
6	6,215	6,212	6,121	6,120	27	6,215	6,203	6,120	6,121
7	6,200	6,206	6,132	6,131	28	6,188	6,178	6,130	6,126
8	6,230	6,229	6,133	6,126	29	6,215	6,215	6,127	6,130
9	6,235	6,232	6,129	6,122	30	6,196	6,196	6,122	6,125
10	6,200	6,202	6,127	6,125	31	6,190	6,181	6,128	6,126
11	6,201	6,192	6,129	6,129	32	6,169	6,163	6,128	6,122
12	6,260	6,255	6,135	6,135	33	6,230	6,229	6,119	6,122
13	6,222	6,234	6,128	6,126	34	6,225	6,216	6,124	6,115
14	6,233	6,224	6,117	6,128	35	6,222	6,213	6,128	6,119
15	6,192	6,201	6,128	6,140	36	6,217	6,202	6,115	6,126
16	6,221	6,207	6,132	6,129	37	6,178	6,164	6,115	6,117
17	6,197	6,209	6,124	6,126	38	6,149	6,161	6,125	6,115
18	6,215	6,207	6,135	6,136	39	6,193	6,182	6,120	6,124
19	6,195	6,204	6,128	6,131	40	6,195	6,191	6,121	6,126
20	6,230	6,216	6,166	6,168	41	6,192	6,187	6,127	6,132
21	6,201	6,201	6,136	6,128	42	6,181	6,187	6,122	6,122

Fonte: Autor

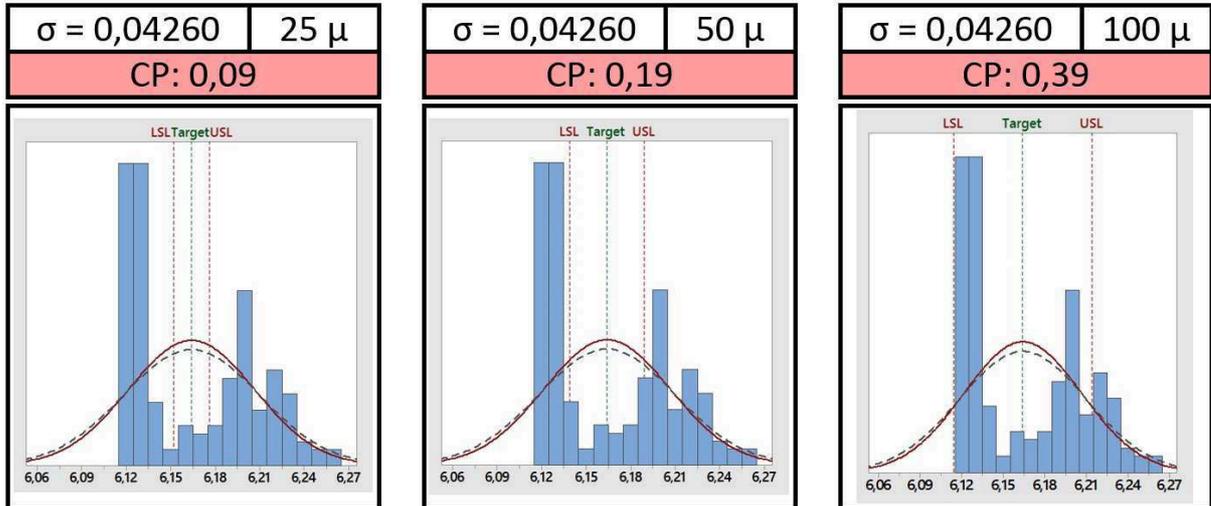
Nota-se que os diâmetros encontrados na medição não se demonstram estáveis, possuindo uma média de 6,164mm e seus valores estão variando entre 6,115mm e 6,260mm, que está de 17 a 262 microns acima do diâmetro nominal da ferramenta.

Salienta-se que os diâmetros encontrados no titânio estão variando entre 6,115m e 6,168mm e possuem, portanto, uma amplitude de 53 microns. O alumínio por sua vez, apresentou resultados negativos, variando entre 6,118mm e 6,260mm, apresentando, portanto, uma amplitude de 142 microns, aproximadamente 3 vezes maior que no titânio.

Em relação a performance da ferramenta, ela apresenta um tempo de furação de aproximadamente 6,4 segundos por furo em contato com o material.

A Figura 50 ilustra os gráficos obtidos no processo de furação e seus respectivos índices de CP (PCR) que foram calculados levando em consideração as tolerâncias do furo de 25, 50 e 100 microns de diâmetro.

**FIGURA 50 – GRÁFICOS E VALORES DE CP RELACIONADOS AO TESTE #9**



Fonte: Autor

Na Figura 51 pode se observar o estado da ferramenta de corte (broca) antes e após a execução dos furos do teste #9. Nota-se que a ferramenta apresenta acúmulo do material usinado (aresta postiça) em suas arestas de corte principal e secundária. O desgaste de flanco pode ser visualmente notado e a ferramenta também apresenta sinais de micro lascamentos em sua aresta de corte secundária.

**FIGURA 51 – ASPECTO VISUAL DA FERRAMENTA NO TESTE #9**

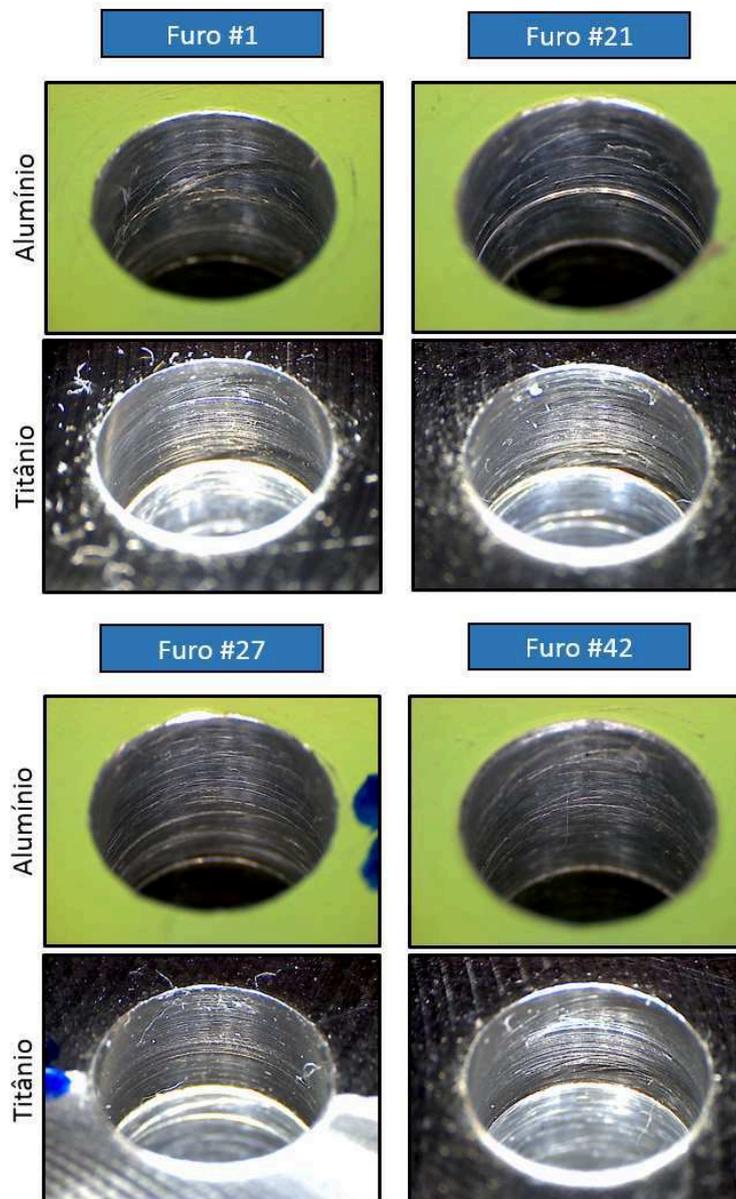


Fonte: Autor

Na Figura 52 é possível identificar o acabamento e o aspecto visual de aproximadamente 10% dos furos realizados com os parâmetros de corte do teste #9, estas imagens foram incluídas somente com o objetivo de manter o registro visual e não mensurável do teste realizado.

Nota-se visualmente um acabamento com a presença de riscos e marcas profundas, principalmente no alumínio conforme furo 21, causadas durante a evacuação do cavaco do titânio e pelo aumento do parâmetro de avanço ( $F_n$ ) no processo, que conseqüentemente aumenta também a espessura do cavaco gerado.

**FIGURA 52 – ASPECTO VISUAL DOS FURROS OBTIDOS NO TESTE #9**



Fonte: Autor

#### 4.10 DISCUSSÃO DA PERFORMANCE

A Tabela 13 apresenta em ordem decrescente o tempo de furação em contato com o material usinado para cada um dos testes realizados.

**TABELA 13 – COMPARAÇÃO DA PERFORMANCE DOS TESTES**

<b>PERFORMANCE</b>				
<b>TESTES</b>	<b><math>V_c</math> m/min</b>	<b><math>F_n</math> mm/rev</b>	<b><math>n \times F_n</math> mm/min</b>	<b>Tempo de Furação</b>
TESTE #9	30	0,120	192	6,4 seg.
TESTE #6	20	0,120	126	8,4 seg.
TESTE #8	30	0,075	120	8,7 seg.
TESTE #5	20	0,075	78,75	11,9 seg.
TESTE #7	30	0,045	72	12,8 seg.
TESTE #3	10	0,120	66	13,7 seg.
TESTE #4	20	0,045	47,25	18,2 seg.
TESTE #2	10	0,075	41,25	20,5 seg.
TESTE #1	10	0,045	24,75	32,4 seg.

**Fonte: Autor**

Os testes número 9, 6 e 8 apresentam os menores tempos de furação respectivamente, são os processos com a melhor performance para quem busca maior produtividade no seu processo de fabricação. Os resultados estão de acordo com a teoria apresentada no tópico “2.1.3.2 Influência da Taxa de Penetração”, que relata o fato de que altos avanços por revolução atuam positivamente para reduzir o tempo de usinagem

Os testes de número 4, 2 e 1 possuem baixos avanços por revolução e apresentam os maiores tempos de furação respectivamente, dos processos apresentados neste trabalho são os que possuem a pior performance.

#### 4.11 DISCUSSÃO DA QUALIDADE

A Tabela 14 apresenta a comparação dos resultados em relação aos índices de CP (PCR) e a ausência de riscos e marcas nos furos durante o processo.

**TABELA 14 – COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DOS TESTES**

			QUALIDADE			
			Índice de CP para:			Furo
TESTES	Vc m/min	Fn mm/rev	25μ	50μ	100μ	Riscos
TESTE #1	10	0,045	0,96	1,92	3,85	
TESTE #2	10	0,075	0,20	0,41	0,82	
TESTE #3	10	0,120	0,16	0,32	0,64	
TESTE #4	20	0,045	0,19	0,39	0,78	
TESTE #5	20	0,075	0,16	0,33	0,67	
TESTE #6	20	0,120	0,15	0,30	0,61	
TESTE #7	30	0,045	0,12	0,24	0,49	
TESTE #8	30	0,075	0,12	0,25	0,50	
TESTE #9	30	0,120	0,09	0,19	0,39	

Fonte: Autor

Como critério para definir a qualidade do furo, foi levado em consideração os processos com a ausência de riscos e com os maiores índices de CP (PCR), a linha de corte para definir um CP estável foi de 1.33, valor que é vastamente utilizado na indústria atualmente, representando um risco de 64ppm (partes por milhão) de resultados fora de tolerância.

O único teste satisfatório foi o de número 1, que visualmente não apresentou riscos nos furos e os índices de CP estão acima de 1,33 para os processos com tolerância acima de 50 micróns de diâmetro.

Os testes com baixo avanço como os de número 1 e 4, apresentam resultados que estão de acordo com a teoria apresentada no tópico “2.1.3.2 Influência da Taxa de Penetração”, que relata o fato de que baixos avanços por revolução ou taxas de penetração atuam positivamente na qualidade final do furo.

Os testes com altas velocidades de corte como os de número 7, 8 e 9, apresentam resultados que estão de acordo com a teoria apresentada no tópico “2.1.3.1 Influência da Velocidade de Corte”, que relata o fato de que altas velocidades de corte resultam na qualidade insatisfatória dos furos, o que se pode notar com os índices de CP (PRC) obtidos nos testes citados.

#### 4.12 DISCUSSÃO DO DESGASTE

A Tabela 15 apresenta em ordem decrescente o tempo de furação em contato com o material usinado para cada um dos testes realizados.

**TABELA 15 – COMPARAÇÃO DO DESGASTE DE FERRAMENTA DOS TESTES**

TESTES	Vc m/min	Fn mm/rev	TIPO DE DESGASTE			
			Aresta Postiça	Desgaste de Flanco	Micro Lascas	Quebra
TESTE #1	10	0,045				
TESTE #2	10	0,075				
TESTE #3	10	0,120				
TESTE #4	20	0,045				
TESTE #5	20	0,075				
TESTE #6	20	0,120				
TESTE #7	30	0,045				
TESTE #8	30	0,075				
TESTE #9	30	0,120				

Fonte: Autor

Os testes de número 1, 2 e 4 foram os únicos que não apresentaram visualmente nenhum tipo de desgaste de flanco ou micro lascamentos após a execução dos furos, e conseqüentemente possuem os resultados mais satisfatórios de todos os processos propostos neste trabalho.

Conforme demonstrado na tabela, não houve nenhuma quebra de ferramenta e todos os processos apresentados possuem aresta postiça (acumulo de alumínio em sua aresta de corte primária e secundária), muito comum na usinagem e/ou furação deste tipo de material.

Os testes com altas velocidades de corte como os de número 3, 6 e 9, apresentam resultados que estão de acordo com a teoria apresentada no tópico “2.1.3.1 Influência da Velocidade de Avanço”, que relata o fato de a velocidade de corte é a principal determinante na vida útil da ferramenta, e que processos com altas velocidades de corte resultam em um rápido desgaste de ferramenta, isso inclui o desgaste de flanco e lascamentos e qualidade insatisfatória do furo.

## 5 CONCLUSÃO

A Figura 53 está formatada para facilitar a conclusão e tem como objetivo apresentar de uma maneira resumida os resultados obtidos e discutidos neste trabalho.

**FIGURA 53 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS**

TESTES	PERFORMANCE				QUALIDADE				DESGASTE			
	Vc m/min	Fn mm/rev	n x Fn mm/min	Tempo de Furação	Índice de CP para:			Furo	Aresta Postiça	Desgaste de Flanco	Micro Lascas	Quebra
					25μ	50μ	100μ	Riscos				
TESTE #1	10	0,045	24,75	32,4 seg.	0,96	1,92	3,85	✓	✗	✓	✓	✓
TESTE #2	10	0,075	41,25	20,5 seg.	0,20	0,41	0,82	✗	✗	✓	✓	✓
TESTE #3	10	0,120	66	13,7 seg.	0,16	0,32	0,64	✗	✗	✗	✗	✓
TESTE #4	20	0,045	47,25	18,2 seg.	0,19	0,39	0,78	✓	✗	✓	✓	✓
TESTE #5	20	0,075	78,75	11,9 seg.	0,16	0,33	0,67	✗	✗	✓	✗	✓
TESTE #6	20	0,120	126	8,4 seg.	0,15	0,30	0,61	✗	✗	✗	✗	✓
TESTE #7	30	0,045	72	12,8 seg.	0,12	0,24	0,49	✗	✗	✗	✗	✓
TESTE #8	30	0,075	120	8,7 seg.	0,12	0,25	0,50	✗	✗	✗	✗	✓
TESTE #9	30	0,120	192	6,4 seg.	0,09	0,19	0,39	✗	✗	✗	✗	✓

**Fonte: Autor**

Os resultados e discussões apresentadas permitiram chegar nas seguintes conclusões:

O processo mais estável para furação de placas conjugadas de alumínio e titânio com as espessuras e propriedades apresentadas, foram obtidos com o teste de número 1, utilizando um Vc de 10m/min, rotação de 550RPMs, avanço de 24,75mm/min e avanço por revolução (Fn) de 0,045mm/rev.

O teste número 1 visualmente não apresenta a presença de riscos e marcas nos furos executados, nem de desgastes de flanco ou micro lascas. É também o único que obteve índices de CP (PRC) acima de 1.33 nos processos com 50 e 100 micróns de tolerância.

Apesar de ser o teste que obteve a pior performance (32,4 segundos), é o único que pode ser considerado satisfatório de acordo com os critérios definidos para os quesitos de qualidade conforme tópico “4.11 DISCUSSÃO DA QUALIDADE”.

## REFERÊNCIAS

AB SANDVIK COROMANT ACADEMY. **Modern Metal Cutting – a practical handbook**. 1 Ed. Sandviken, Suécia: AB Sandvik Coromant, Technical Editorial dept., 1994. 960 p.

AB SANDVIK COROMANT. **Training Handbook, Metal Cutting Technology**. Sandviken, Suécia: AB Sandvik Coromant, Technical Editorial dept., 2017.

ALLEGRINI, Alex. **ANÁLISE DA ASPECTOS DA FURAÇÃO DO TITÂNIO 6AI4V COM BROCA DE AÇO RÁPIDO SINTERIZADO E BROCA DE METAL DURO**. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Materiais) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Guaratinguetá, 2014.

CAMPBELL JUNIOR, F. C. **Manufacturing technology for aerospace structural materials**. Amsterdam: Elsevier, 2011.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. v.1. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1977.

MODERN AIRLINERS. **BOING 787 DREAMLINER SPECS**. Disponível em: <<http://www.modernairliners.com/boeing-787-dreamliner/boeing-787-dreamliner-specs/>>. Acesso em: 28 abr. 2018

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. 6th Edition. 834 p. Hoboken, U.S.A.: John Wiley & Sons, 2013.

MORINE, M. R. **Usinagem em placa mista de fibra de carbono e titânio com brocas de policristalino de diamante (PCD)**. 129 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul, 2016.

OLIVEIRA, D. G. **EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE DRILLING PROCESS OF AERONAUTICAL MULTI-LAYERED METAL STRUCTURES**. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e Aeronáutica nas áreas de Materiais e Processos de Manufatura) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2017.

PEREIRA, A. C. **ANÁLISE DE CAPABILIDADE PARA AVALIAR A INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE BROCAS HELICOIDAIS EM FURAÇÃO PROFUNDA DE UMA LIGA DE ALUMÍNIO – UM ESTUDO DE CASO**. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais nas áreas de concentração em Engenharia de Manufatura) – UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE MATERIAIS - PPGEM. Curitiba, 2010.

PINTO, G. T. B. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE BROCAS ESPECIAIS NA FURAÇÃO DE CHAPAS FINAS AERONÁUTICAS**. 164 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

RIBEIRO, J. L. D; CATEN, C. S. T. **Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição**. 172 p. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2012.

SANDVIK COROMANT. **TIPOS DE DESGASTE**. Disponível em: <<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/drilling/wear-and-troubleshooting/wear-types/pages/default.aspx> >. Acesso em: 28 abr. 2018.

SANDVIK HYPERION. **H10F CEMENT CARBIDE FOR ROTARY TOOL BLANKS**. Disponível em: <<https://www.hyperion.sandvik.com/Documents/Product%20Literature/Carbide%20Products/Rotary%20Tools/OLD/H10F%20cement%20carb%20for%20rotary%20tool%20blanks.pdf> >. Acesso em: 21 abr. 2018.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte II: brocas, alargadores, ferramentas de roscar, fresas, brochas, rebolos e abrasivos**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2005.