

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA

LUIZ FERNANDO FODI

ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE NA FURAÇÃO DO ALUMÍNIO 7075-T6
COM BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO E METAL DURO

JARAGUÁ DO SUL

Junho de 2022

LUIZ FERNANDO FODI

ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE NA FURAÇÃO DO ALUMÍNIO 7075-T6
COM BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO E METAL DURO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Campus Jaraguá do Sul – Rau, do Instituto Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Gil Magno Portal Chagas

JARAGUÁ DO SUL

Junho de 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
por meio do programa de geração automática do câmpus Rau, do IFSC

Fodi, Luiz Fernando

Análise comparativa da qualidade na furação do alumínio
7075-T6 com brocas helicoidais de aço rápido e metal duro
/ Luiz Fernando Fodi ; orientação de Gil Magno
Portal Chagas. Jaraguá do Sul, SC, 2022.

62 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul -
Rau. Tecnologia em Fabricação Mecânica. .
Inclui Referências.

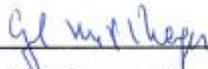
1. Furação. 2. Qualidade da furação. 3. Brocas de
aço rápido. 4. Brocas de metal duro. I. Chagas, Gil Magno
Portal . II. Instituto Federal de Santa Catarina.
. III. Título.

LUIZ FERNANDO FODI

ANÁLISE COMPARATIVA DA QUALIDADE NA FURAÇÃO DO ALUMÍNIO 7075-T6
COM BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO E METAL DURO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Jaraguá do Sul, 21 de junho de 2022.



Prof. Dr. Gil Magno Portal Chagas
Orientador
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Cassiano Rodrigues Moura, Me.
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Tiago da Silva, Me.
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU

AGRADECIMENTOS

A minha família e amigos pelo apoio e incentivo.

Ao professor orientador Gil Magno Portal Chagas, pela confiança, incentivo e compartilhamento de todos os conhecimentos.

A empresa onde foi realizada os testes presentes neste estudo.

Ao Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Jaraguá do Sul – Rau pelos conhecimentos adquiridos durante esses anos de curso.

Obrigado!

RESUMO

O processo de furação é um dos principais processos na indústria manufatureira, tendo grande influência na usinagem, englobando cerca de 30% de todas as operações de usinagem e cerca de 25% do tempo total de fabricação de uma peça. Na indústria mecânica, existem diversos tipos e modelos de brocas para se executar estas furações, mas algumas possuem vantagens em relação às outras no quesito de desgastes, custos, geometria de ponta. A escolha inadequada do ferramental pode trazer um custo adicional da fabricação das peças e cumulativamente menores rendimentos as empresas. Este trabalho tem como objetivo analisar a qualidade na furação do alumínio 7075 T6, com a utilização de uma broca de aço rápido e uma de metal duro, ambas com ângulo de hélice tipo N, e verificar qual destas irá apresentar uma melhor rugosidade, qualidade dimensional e menor formação de rebarbas. Os experimentos foram realizados com testes práticos em um centro de usinagem vertical. Desenvolveu-se um modelo de corpo de prova para analisar o desempenho das ferramentas, com os testes realizados foi possível observar através de medições feitas com máquinas por feixe de luz e projetor de perfil ótico, rugosímetro e com auxílio de uma máquina tridimensional, qual foi a broca que obteve os melhores resultados na qualidade dimensional, circularidade, desvio de posição, rugosidade e rebarbas. Com os resultados obtidos neste trabalho foi possível verificar que ambas as brocas apresentaram desempenho satisfatório, com diversos resultados semelhantes nas condições avaliadas. Estes resultados permitem melhores decisões na seleção das ferramentas para usinagem em baixa e grande escala.

Palavra-Chave: Furação. Qualidade da furação. Brocas de aço rápido. Brocas de metal duro.

ABSTRACT

The drilling process is one of the main processes in the manufacturing industry, having a big influence in machining, encompassing about 30% of all machining operations and around 25% of one piece fabrication timing. In the mechanical industry, there are many types and models of drill bits that can be used in these drillings, but some of them have advantages over others in terms of wear, costs, cutting-edge geometry, among others. The inadequate choice of the tooling can bring an additional cost to the pieces fabrication and cumulatively less income to companies. This research aims to analyze the quality in the drilling of aluminum 7075 T6, with the use of a fast steel drill and a hard metal drill, both with propeller angle N type; which of the substrates will present a better roughness, dimensional quality and less burr formation. The experiment was accomplished with practical testing in a vertical machining center. A sample specimen model was developed to analyze the performance of the tools, with the accomplished testing it was possible to observe through measurements made with machines by light beam and optical profile projector, rugosimeter and with the help of a tridimensional machine; which was the drill that had the best outcome in dimensional quality, circularity, position, roughness and wear. With the results obtained in this work, it was possible to verify that both drills presented satisfactory performance, with several similar results in the evaluated conditions. These results allow better decisions in the selection of tools for small and large scale machining.

Key-words: Drilling. High speed drill. Carbide drill.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais Categorias no Processo de Furação	16
Figura 2 – Broca Helicoidal	17
Figura 3 – Geometria da Ponta de uma broca helicoidal	18
Figura 4 – Afições em brocas helicoidais	23
Figura 5 – Erros comuns no processo de furação.....	24
Figura 6 – Rebarbas de furação segundo Kim; Min; Dornfeld.....	25
Figura 7 – Exemplo de circularidade	27
Figura 8 – Tolerância de posição.....	28
Figura 9 – Parâmetros de Rugosidade Ra	29
Figura 10 – Parâmetros de Rugosidade Rz	29
Figura 11 – Broca de HSS e Metal duro, vista superior.....	34
Figura 12 – Broca de HSS e Metal duro, vista lateral.....	35
Figura 13 –Centro de Usinagem Okuma	35
Figura 14 – DMG VIO 210 (microset)	36
Figura 15 – Máquina tridimensional ZEISS, modelo ACCURA.....	36
Figura 16 – Rugosímetro MAHR, modelo perthometer S2.....	37
Figura 17 – Apalpador utilizado	37
Figura 18 – Desenho 2D e vista isométrica do corpo de prova	38
Figura 19 – Fixação da peça e alinhamento antes da furação	41
Figura 20 – Fixação das brocas	42
Figura 21 – Verificação do batimento, máquina DMG VIO 210 (microset)	42
Figura 22 – Metodologia aplicada	43
Figura 23 – Medição da altura da rebarba	44
Figura 24 – Diâmetros obtidos para condição 1	45
Figura 25 – Diâmetro obtidos para condição 2.....	46
Figura 26 – Diâmetro obtido pela broca de HSS.....	46
Figura 27 – Diâmetro obtido pela broca de MD.....	47
Figura 28 – Circularidade obtida para condição 1	48
Figura 29 – Circularidade obtida para condição 2	49
Figura 30 – Desvio obtido para condição 1	50
Figura 31 – Desvio obtido para condição 2	51
Figura 32 – Rugosidade obtida para condição 1	52

Figura 33 – Rugosidade obtida para condição 2.....	52
Figura 34 – Rebarbas obtidas no processo de furação.....	53
Figura 35 – Altura da rebarba para condição 1	54
Figura 36 – Altura da rebarba para condição 2	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características toleradas em uma peça.....	26
Tabela 2 – Composição química AL7075-T6.....	33
Tabela 3 – Propriedades mecânicas do AL7075-T6 utilizado no trabalho	34
Tabela 4 – Parâmetros de corte utilizados para broca de HSS	39
Tabela 5 - Parâmetros de corte utilizados para broca de MD.....	40
Tabela 6 – Medições das brocas	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C – Grau Celsius

µm – Micrometro ou micron

2D – Duas dimensões

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AISI - *American Iron and Steel Institute*

Al – Alumínio

ASME - *American Society of Mechanical Engineers*

CNC – Comando Numérico Computadorizado

Co - Cobalto

Cp – Corpo de prova

Cr - Cromo

Cu - Cobre

Cv – Cavalo vapor

Fe - Ferro

Fz – Avanço por dente

HB – Dureza Brinell

HSS – *High speed steel / Aço rápido*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina

ISO – *International Organization for Standardization*

Kgf/cm² - Quilograma-força por centímetro quadrado

Kw - Quilowatt

m/min – Metros por minuto

MD – Metal duro

Mg - Magnésio

mm - Milímetros

mm/rot – Milímetros por rotação

Mn - Manganês

MPa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

Rpm – Rotações por minuto

Si - Silício

TaC – Carboneto de Tântalo

TiC – Carboneto de titânio

vc – Velocidade de corte

WC – Carbetto de Tungstênio

Zn - Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivo Específico.....	15
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1 Processo de Furação	16
2.2 Brocas Helicoidais.....	17
2.3 Materiais das brocas inteiriças	19
2.3.1 Brocas de aço rápido HSS – <i>High Speed Steel</i>	19
2.3.2 Brocas de WC – Metal duro	20
2.4 Afições para brocas helicoidais	21
2.5 Qualidade no Processo de Furação	23
2.5.1 Rebarbas.....	24
2.5.2 Tolerâncias Geométricas	26
2.5.3 Tolerâncias de Forma	26
2.5.4 Rugosidade	28
2.6 Usinabilidade dos Materiais.....	29
2.6.1 Usinabilidade nas Ligas de Alumínio.....	30
2.6.2 Liga de Alumínio 7075.....	31
2.6.3 Quanto a Seleção das Ferramentas para Alumínio.....	31
2.6.4 Quanto aos Parâmetros de Usinagem no Alumínio.....	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 Materiais.....	33
3.2 Ferramentas	34
3.3 Equipamentos	35
3.4 Corpo de prova.....	38
3.5 Parâmetros de corte e ensaios realizados	38
3.6 Métodos.....	40
3.6.1 Fixação e verificação do alinhamento do corpo de prova	40
3.6.2 Medição e preparação das brocas	41
3.6.3 Medição dos erros de posição dos furos.....	42

3.6.4 Medição das rebarbas	43
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	45
4.1 Diâmetro das Furações	45
4.2 Circularidade das furações.....	48
4.3 Desvio ou Posicionamento das furações.....	50
4.4 Rugosidade das furações.....	52
4.5 Rebarbas na saída das furações.....	53
5 CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	58
APÊNDICE A - Termo de autorização de pesquisa	61
ANEXO A – Resultados obtidos	62

1 INTRODUÇÃO

A usinagem é um processo que tem por objetivo remover uma quantidade de material através de uma ferramenta dando forma a materiais e peças.

Este processo pode ser realizado de diversas formas, em máquinas manuais ou com Comando Numérico Computadorizado (CNC). Dentro dos processos de usinagem os mais conhecidos são: torneamento, fresamento, furação, rosqueamento, alargamento, mandrilamento, retificação, aplainamento (FERRARESI, 1970).

Dentre os processos de usinagem, a furação é geralmente realizada com uma ferramenta chamada de broca. Existem vários tipos de brocas, das quais se destaca a broca helicoidal, que é a mais utilizada (GROOVER, 2014). Estima-se que a furação corresponde a cerca de 30% dos processos de usinagem utilizados e cerca de 25% do tempo total de fabricação de uma peça. Aproximadamente 60% de todas as furações referem-se a furos curtos de até 5 vezes o diâmetro (STEMMER, 2007). Este processo está em constante otimização, com busca de melhor eficiência para atender as necessidades da indústria 4.0.

Diante das tecnologias em furações apresentadas na bibliografia, percebe-se que houve um avanço na fabricação das ferramentas, novas metodologias, melhorias nos processos e o desenvolvimento de brocas de materiais diferentes, como o aço rápido e de metal duro. Com isso, surgiram novos parâmetros no processo de furação, alteração no ciclo de vida da ferramenta, com conseqüente aumento da produtividade e diminuição das paradas não programadas no processo produtivo.

Para Santos e Sales (2007) e Ferraresi (1970), com a alteração da velocidade de corte, as forças de usinagem não aumentam de forma acentuada, porém o avanço e o material da ferramenta influenciam diretamente no aumento das forças de usinagem, o que resulta em alterações na qualidade dimensional, rugosidade e formação de rebarbas.

Para Groover (2014) diante das tecnologias desenvolvidas para as brocas de aço rápido como novos métodos de fabricação, geometria de corte entre outros, ainda à tornam competitiva, porém dependendo de alguns fatores como: quantidade de peças a serem usinadas, acabamento desejado, material usinado entre outros.

Entretanto, considerando que o desenvolvimento do metal duro permite a utilização de velocidades de corte e avanços superiores, já é de se compreender que as brocas produzidas por este material proporcionam uma redução dos tempos de

produção nas operações de furação. No entanto, pouco é informado sobre a qualidade comparativa das furações obtidas com as brocas de outros materiais.

Desta forma, este trabalho tem por objetivo analisar a qualidade no furo produzido por uma broca de aço rápido e uma de metal duro no alumínio 7075-T6.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Fazer uma análise comparativa de qualidade dos furos produzidos por uma broca helicoidal de aço rápido e uma de metal duro em uma liga de alumínio AL 7075-T6.

1.1.2 Objetivo Específico

- Comparar e identificar a broca que produza a melhor tolerância dimensional do furo;
- Comparar e identificar a broca de produza a menor rugosidade;
- Comparar e identificar a broca de produza a melhor circularidade;
- Avaliar o posicionamento ou desvios das furações para ambas as brocas;
- Identificar os tipos de rebarbas gerados no processo de furação;
- Comparar e identificar a broca que produz a menor formação de rebarbas na saída dos furos.

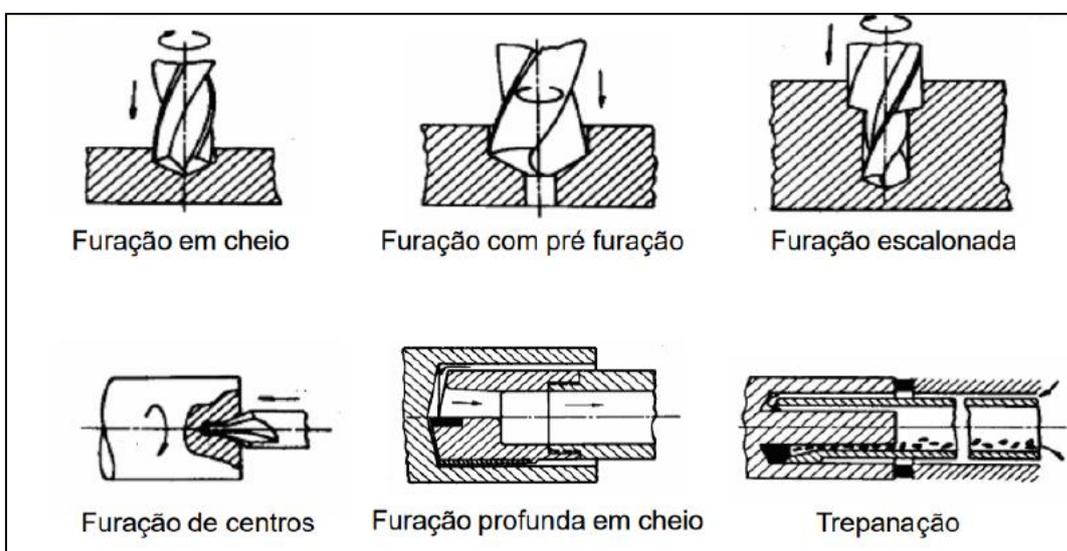
2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Processo de Furação

O processo de furação é um dos processos de usinagem mais utilizados na indústria manufatureira. A grande maioria das peças de qualquer tipo utilizadas na indústria tem pelo menos um furo, e somente uma parte muito pequena dessas peças já vem com o furo pronto do processo de obtenção (fundição, forjamento, etc.). Em geral, as peças necessitam ser furadas em cheio ou terão seus furos aumentados através do processo de furação (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2014).

Segundo Ferraresi (1970), a furação é um processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de um furo, numa peça, com auxílio de uma ferramenta geralmente multicortante. Para que isto ocorra, a ferramenta ou a peça giram e simultaneamente a ferramenta ou a peça se deslocam seguindo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo da máquina. O processo pode ser dividido nas categorias: furação em cheio, escareamento, furação escalonada, furação de centros e trepanação. Alguns destes processo podem ser observados na figura 1.

Figura 1 - Principais Categorias no Processo de Furação



Fonte: Adaptado de Ferraresi (1970)

Com a grande variedade de matérias primas presentes no mercado, necessita-se de ferramentas específicas para a usinagem de cada tipo de material, desta forma existe uma ampla gama de brocas, cada uma com uma aplicação específica. As mais comuns são brocas chatas, brocas helicoidais, brocas escalonadas, brocas de centro,

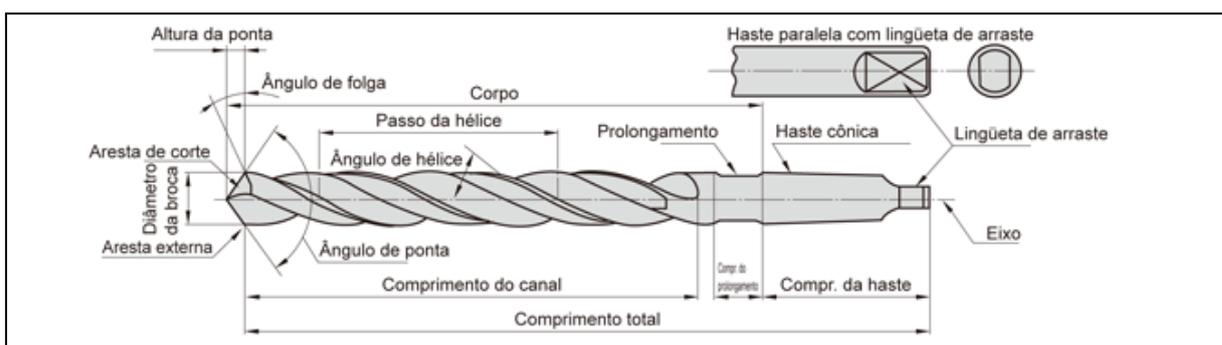
brocas helicoidais com pastilhas de metal-duro e brocas ocas, sendo a mais utilizada a broca helicoidal (STEMMER, 2005).

Para Stemmer (2005) a seleção da categoria adequada neste processo deve considerar os seguintes fatores: diâmetro do furo, profundidade, tolerâncias de forma e de medidas e volumes de produção.

2.2 Brocas Helicoidais

Os termos, tipos e definições das brocas helicoidais são definidos pela norma ABNT NBR ISO 5419 que serve como base para fabricação das brocas de aço rápido e metal duro, de ampla utilização na indústria (STEMMER, 2008). A figura 2 apresenta a geometria e os elementos de uma broca helicoidal.

Figura 2 – Broca Helicoidal



Fonte: Mitsubishi (2022)

Diniz, Marcondes e Coppini (2014) comentam sobre algumas partes das brocas helicoidais:

- Haste ou haste cônica: Servem para a fixação da broca na máquina, sendo normalmente no formato cônico ou cilíndrico;
- Diâmetro: É medido entre as duas guias da broca. Normalmente possui tolerância dimensional h8;
- Núcleo: Parte interior da broca possui 0,16 vezes o diâmetro da broca. Serve para conferir rigidez à broca;
- Guias: Cada aresta de corte apresenta uma região que tem diâmetro maior que o diâmetro das paredes da broca, essas regiões são denominadas guias. Elas possuem duas funções básicas, guiar a broca dentro do furo e evitar que toda a parede externa da broca atrite com as paredes do furo;
- Canais helicoidais: São espaços que permitem a saída de cavaco e

possibilitam a chegada de fluido de corte nos gumes. Esses canais são usinados ou formados no corpo da broca para constituírem as arestas de corte.

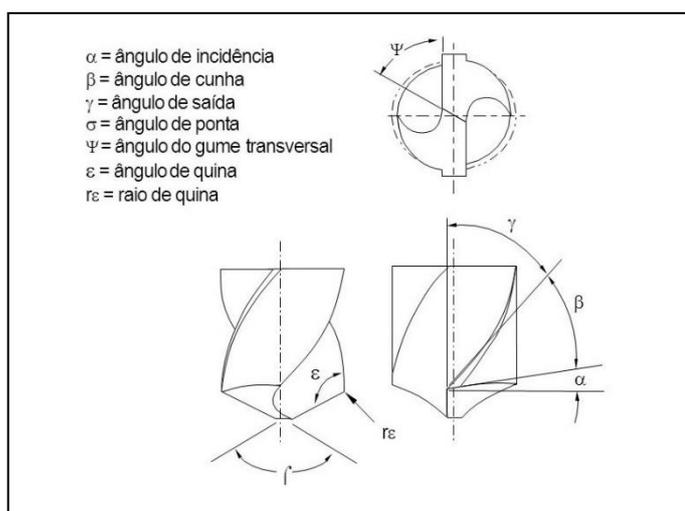
- f) Arestas de corte: em uma broca helicoidal as duas arestas principais de corte não se encontram em um ponto, mas existe uma terceira aresta ligando-as. A terceira aresta é chamada de aresta transversal de corte;

Diniz, Marcondes e Coppini (2014) trazem também que as brocas helicoidais possuem três tipos de ângulos de hélices normalizadas:

- Tipo W: possui passo curto, indicada para materiais que formam cavacos longos, como alumínio, magnésio. Ângulo de hélice entre 35° a 45°.
- Tipo N: possui passo normal, indicada para aços, ferros fundidos e similares. Ângulo de hélice entre 18° a 30°.
- Tipo H: possui passo longo, indicada para materiais que formam cavacos curtos, como ligas de cobre, zinco, borracha e materiais plásticos. Ângulo de hélice entre 10° a 15°.

A geometria de ponta das brocas helicoidais é composta pelos ângulos denominados: “ α ” que é conhecido como ângulo de folga ou incidência; “ β ”, que é conhecido com ângulo de cunha; e “ γ ”, que é o ângulo de saída. A figura 3 mostra os ângulos citados.

Figura 3 – Geometria da ponta de uma broca helicoidal



Fonte: Castilho (2005)

No processo de furação, uma série de fatores precisam ser considerados para a adequada seleção da ferramenta (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2014).

- a) Material que será usinado – considerar dureza e características da peça;
- b) Processo de usinagem – Ferramentas envolvidas no processo;
- c) Condições da máquina – Potência, folgas, gama de rotações;
- d) Forma e dimensões da ferramenta – Ferramentas soldadas, em aço rápido ou de pequeno diâmetro.
- e) Custo da ferramenta – Considerar custo benefício;
- f) Condições de usinagem – Operações de acabamento ou desbaste;
- g) Condições da operação – Corte interrompido, sistemas de fixação.

2.3 Materiais das brocas inteiriças

Ferramentas inteiriças são compostas de um corpo único, enquanto ferramentas intercambiáveis são formadas por um corpo de aço, onde são fixados os insertos de diversos materiais, (metal duro, cerâmica, diamantes policristalinos, nitreto cúbico de boro) dependendo do material a ser usinado (GROOVER, 2014). Para brocas inteiriças os materiais mais comuns são: o aço-rápido e o metal duro.

2.3.1 Brocas de aço rápido HSS – *High Speed Steel*

As principais tecnologias referentes ao material de uma ferramenta de corte foram desenvolvidas na virada do século XIX, que foi a descoberta das ferramentas de aço rápido (HSS – *High Speed Steel*). Na época existia apenas ferramentas de aço-carbono, onde as velocidades de corte passaram de 3 a 5 m/min com as ferramentas de aço carbono para 30 a 35 m/min para as ferramentas de aço rápido, cerca de 10 vezes mais rápidas (MACHADO, ABRÃO, COELHO, SILVA, 2011).

Uma grande variedade de aços rápidos está disponível no mercado, mas esses materiais podem ser divididos em dois grupos básicos: Os de tungstênio, designado pela categoria T dada pelo *American Iron and Steel Institute* (AISI), exemplo AISI-T1, e as de molibdênio, designado pela categoria M da AISI, exemplo AISI-M2 (GROOVER, 2014).

Segundo Santos e Sales (2007), as ferramentas de aço rápido são fabricadas por processos de fundição, laminação e sinterização.

Apesar deste material ter sido desenvolvido há mais de um século, ele é especialmente indicado em aplicações que envolvam ferramentas de geometrias complexas, como brocas, machos, fresas e brochas. Estas formas complexas em

geral possuem menor custo de fabricação e são mais fáceis de serem produzidas em aço rápido não endurecido que em outro material para ferramenta (GROOVER, 2014).

Posteriormente, a ferramenta de aço rápido pode ser tratada termicamente para que a dureza na aresta de corte seja alcançada (65 *Rockwell C*), enquanto no seu núcleo a ferramenta apresenta boa tenacidade. Ferramentas de aço rápido possuem maior tenacidade que qualquer uma de materiais não ferrosos utilizados na usinagem, particularmente o metal duro e materiais cerâmicos (GROOVER, 2014).

As ferramentas de HSS são difundidas entre os operadores por conta do baixo custo e da facilidade de ser reafiada. Ao longo dos anos, melhorias têm sido descobertas sobre afiações para manter as ferramentas competitivas em muitas operações. Além disto, também podem ser revestidas para obter um aumento significativo de desempenho de corte (GROOVER, 2014).

2.3.2 Brocas de WC – Metal duro

Outra grande evolução nos materiais para ferramentas ocorreu por volta de 1925 na Alemanha, onde Schröter conseguiu produzir em laboratório o carboneto de tungstênio (WC) pela primeira vez. Denominado “metal duro”, o carboneto de tungstênio possui uma excelente combinação de resistência ao desgaste, resistência mecânica e tenacidade (MACHADO, ABRÃO, COELHO, SILVA, 2011).

Neste grupo os materiais sinterizados formados de carbonetos de tungstênio, de titânio (TiC) e de tântalo (TaC), envolvidos por um ligante que normalmente é o cobalto, formando assim um corpo resistente. Inicialmente testou-se WC+CO puro para usinagem de aços, no entanto as ferramentas apresentaram desgaste acelerado por cratera, também uma forte afinidade entre o aço e o carbono do WC o que resultou em um desgaste por difusão e uma reação química entre os materiais da peça-ferramenta. O carboneto de titânio (TiC) e o carboneto de tântalo (TaC) foram introduzidos para melhorar as propriedades mecânicas das ferramentas para usinagem dos aços (GROOVER, 2014).

A partir disto, surgiu dois grupos bases nos metais duros, os compostos de WC-Co não indicada para aços, mas adequados para usinagem de materiais não ferrosos como alumínio, latão, bronze entre outros. E o outro grupo indicado para usinagem de aço, compostos de WC+Co combinados com TiC e TaC (GROOVER, 2014).

Atualmente a norma ISO classifica os metais duros em classes, de acordo com o material da peça a ser usinado (SANTOS, SALES, 2007):

- Classe P: Aços;
- Classe M: Aços inoxidáveis;
- Classe K: Ferro fundido;
- Classe N: Alumínio;
- Classe H: Aços endurecidos
- Classe S: Superligas.

A subdivisão dentro de cada classe depende principalmente de (MACHADO, ABRÃO, COELHO, SILVA, 2011):

- Composição química, qualidade e quantidade de carbonetos;
- Tamanho de grãos, quanto mais fino, maior tenacidade da ferramenta aliada a uma dureza média.

A vantagem do metal duro em relação ao aço rápido é que este possui uma maior vida útil (maior que 10 vezes), possibilitam velocidade de corte mais altas (cerca de 2,5 vezes), e a velocidade de avanço (cerca de 2 vezes) (WICK, 1983).

As brocas de metal duro também podem receber revestimentos para um aumento da vida útil e obter propriedades mecânicas superiores (MACHADO, ABRÃO, COELHO, SILVA, 2011).

2.4 Afições para brocas helicoidais

As brocas helicoidais de aço rápido e inteiriças de metal-duro necessitam ser afiadas ao fim de sua vida, para que sejam capazes de serem reutilizadas (DINIZ et al., 2006). Este processo é realizado através de ferramentas abrasivas utilizadas na construção e manutenção dos gumes de corte (OLIVEIRA, 2008 apud PEREIRA, 2018).

Ferraresi (1970) afirma que os principais problemas apresentados pela afiação são decorrentes da geometria da ponta da ferramenta. Segundo Stemmer (2005) e SKF® (1989) existem alguns tipos de afiações especiais a fim de solucionar problemas específicos, como por exemplo:

a) Redução da aresta transversal ou afinação do gume transversal (figura 4 (Formato A)), se retifica uma reentrância na ponta da broca, reduzindo o gume transversal, com o objetivo de reduzir a força de avanço gerada pelo gume transversal,

que aumenta após sucessivas reafiações.

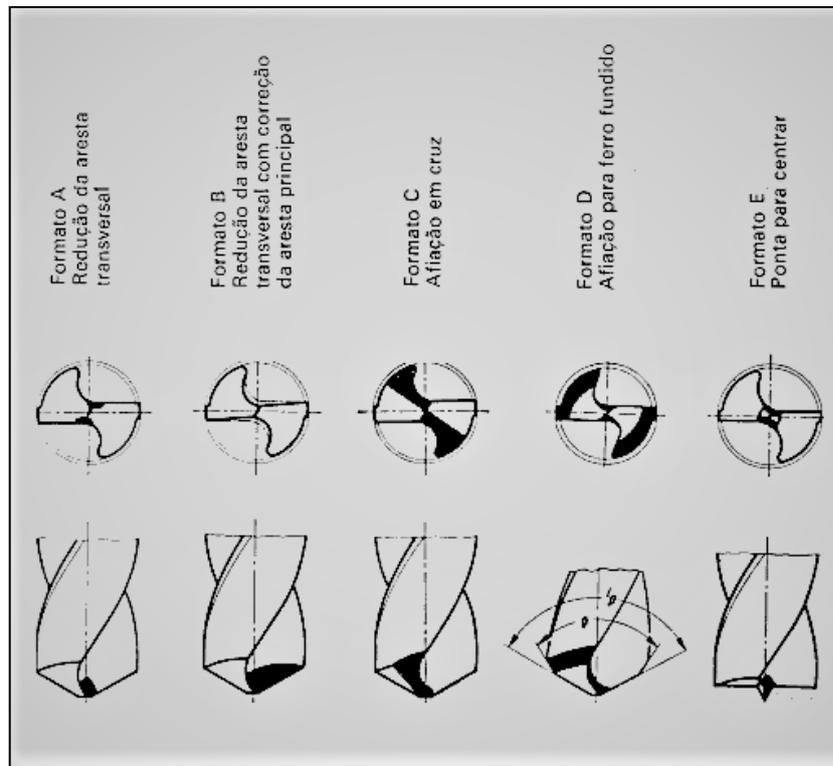
b) Redução da aresta transversal com correção da aresta principal (figura 4 (Formato B)), onde se retifica uma canaleta que simultaneamente corrige o ângulo de saída da broca, no centro e afina o gume principal, afim de melhorar as condições de corte.

c) Afição em cruz ou cruzada (figura 4 (Formato C)), retifica-se um inclinado nas superfícies de incidência (flancos), eliminando parcialmente ou totalmente o gume transversal, esta afiação provoca um efeito centrante na broca e é utilizado em brocas para furações profundas.

d) Afição para ferro fundido ou da ponta secundária (figura 4 (Formato D)), retifica-se uma segunda ponta nas extremidades do diâmetro, afim de deixar um ângulo entre 80 a 90°. Possui o objetivo de reduzir o sobre-aquecimento na parte externa dos gumes onde a velocidade de corte é máxima. Esta afiação tem apresentado bom resultado na furação de ferro fundido cinzento.

e) Ponta para centrar ou ponta de centragem (figura 4 (Formato E)), o ângulo de ponta varia entre 150 a 180°, dependendo da espessura da chapa a ser furada, deve ser empregada em furações de pouca profundidade (menor que duas vezes o diâmetro da broca) ângulos grandes ocasionam maior desgaste na periferia, podendo ser feito o uso de um ângulo secundário de 90°. Este tipo de afiação tem por objetivo reduzir a rebarba na saída do furo, melhor localização do centro do furo, reduz os tempos de usinagem por ter um comprimento de ponta menor. A figura 4 a seguir apresenta as afiações citadas acima.

Figura 4 – Afições em brocas helicoidais



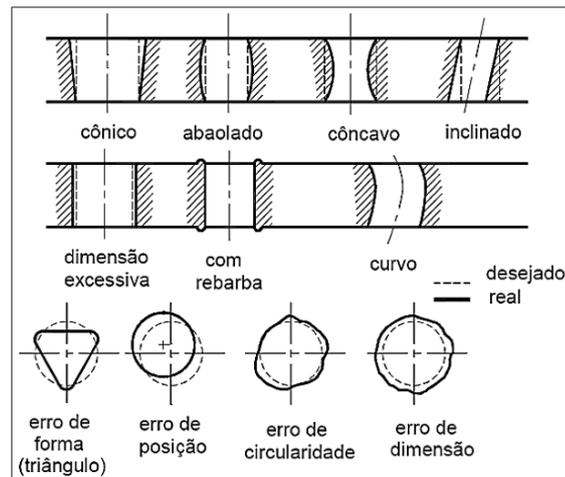
Fonte: Adaptado de SKF® (1989)

2.5 Qualidade no Processo de Furação

A precisão de qualquer furo produzido por brocas depende de muitos fatores, incluindo o processo utilizado, a peça e a máquina usadas, parâmetros de usinagem e a rigidez do conjunto. A precisão é também dependente da geometria da ferramenta utilizada (KÖNIG 1997, WICK 1988 apud CASTILLO 2005).

Dentro do processo de furação existem condições que ocasionam erros ou imperfeições no furo gerado. A figura 5 a seguir, mostra os erros geométricos mais comuns que ocorrem no processo de furação.

Figura 5 - Erros comuns no processo de furação



Fonte: CASTILLO 2005

Para a execução de furos aceitáveis devem-se seguir tolerâncias, que podem ser de forma e posição ou dimensional. As tolerâncias dimensionais estão relacionadas com a medida nominal e a medida real encontrada no furo, e as tolerâncias de forma estão relacionadas com a geometria dos furos.

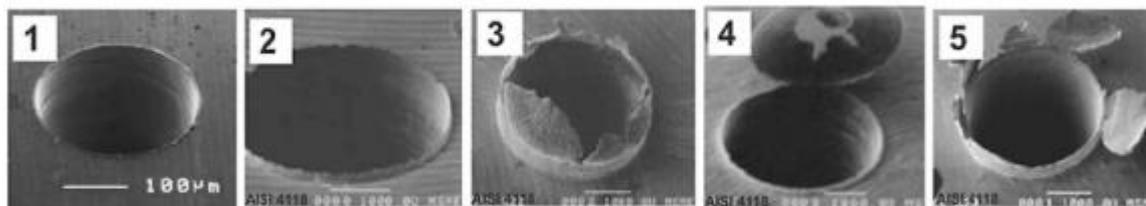
2.5.1 Rebarbas

Rebarba é a parte de uma peça de trabalho que é produzida através de processos de fabricação em uma borda ou superfície, ocasionadas pela ferramenta de corte. Na maioria dos casos, as rebarbas são definidas como indesejadas projeções do material formada como resultado do fluxo plástico das operações de corte (AURICH et al., 2009).

As rebarbas acabam gerando um processo de remoção posterior a usinagem, que não agrega valor ao produto, e que aumenta os custos de produção. Segundo Aurich et al., (2009) não existem classificações universais para as rebarbas, além de não existir uma padronização de medição e dimensões.

Entretanto, segundo Kim; Min e Dornfeld (2001) seu estudo gerou uma classificação, que são indicados na figura 6. Para os autores a identificação e classificação se torna importante, pois o custo de remoção pode variar de acordo com seu tipo.

Figura 6 – Rebarbas de furação segundo Kim; Min; Dornfeld



1- Uniforme tipo 1; 2- Uniforme tipo 2; 3- Transitória; 4- Uniforme tipo com tampa de broca; 5- Tipo coroa

Fonte: Adaptado de Aurich et al (2009)

As rebarbas tipo 1 e 2 são uniformes e apresentam altura e espessura pequenas ao redor do furo. A rebarba tipo 3 são aquelas onde a ruptura demora para ocorrer, criando uma seção uniforme maior. A rebarba tipo 4 também apresenta uma forma uniforme, entretanto uma tampa de broca é formada ao final da furação. As rebarbas tipo coroa possuem alturas irregulares e maiores que as uniformes.

No processo de furação a rebarba é gerada na superfície superior e na superfície inferior da peça (furo passante). A rebarba na entrada do furo é resultado de rasgar, uma ação de flexão seguida de um corte limpo ou extrusão lateral (GILLESPIE, 1999 apud PEREIRA, 2018).

Os principais problemas no que diz respeito a rebarbas na furação apresentam-se na superfície de saída do furo, onde as maiores rebarbas aparecem (STEIN, 1995; STEIN, 1996 apud PEREIRA, 2018).

Os principais fatores que influenciam na formação de rebarbas são os parâmetros de corte, geometria da ferramenta e o caminho da ferramenta. As propriedades do material também são de grande importância como resistência a tração, limite de escoamento, resistência ao cisalhamento e alongamento (KIM; MIN; DORNFELD, 2001).

Materiais frágeis (quebradiços) geram poucas rebarbas, devido à baixa deformação plástica que possuem, logo materiais dúcteis são mais propícios a gerar rebarbas devido à alta deformação plástica que apresentam (SOARES FILHO, 1995).

O avanço afeta a força de empuxo, que determina a quantidade de material que sofre deformação no final do processo de furação, logo quanto maior o avanço, maior será a força de empuxo. A velocidade de corte afeta a temperatura na aresta de corte, altas temperaturas influenciam nas propriedades do material, além de afetar no

desgaste das ferramentas, que, também influencia na geração de rebarbas alongamento (KIM; MIN; DORNFELD, 2001).

2.5.2 Tolerâncias Geométricas

As tolerâncias geométricas são variações permitidas na qual desvios e erros devem estar dentro do limite tolerado a fim de assegurar os requisitos funcionais de montagem e intercambiabilidade. A tolerância é a diferença entre o limite máximo e mínimo de uma dimensão (SILVA NETO, 2018).

As tolerâncias podem ser especificadas de diversas formas com seus respectivos símbolos, também pode ser bilateral ou unilateral, onde unilateral é uma variação permitida apenas em um sentido, positivo ou negativo, a bilateral refere-se a ambos os sentidos (GROOVER, 2014).

A tabela 1 apresenta as características toleradas de uma peça e seus símbolos indicados nos desenhos.

Tabela 1 - Características toleradas em peças

Características toleradas		Símbolo
Forma	Retitude	—
	Planeza	
	Circularidade	
	Cilindricidade	
	Perfil de linha qualquer	
	Perfil de superfície qualquer	
Orientação	Paralelismo	//
	Perpendicularidade	
	Inclinação	
Posição	Posição	
Batimento	Circular	
	Total	

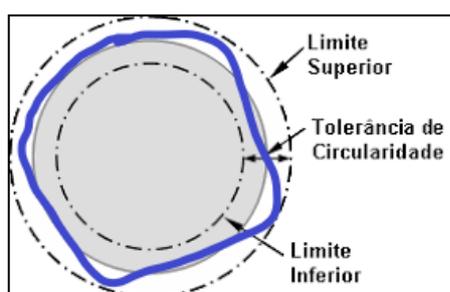
Fonte: Adaptada da NORMA ASME Y14.5 (2018).

2.5.3 Tolerâncias de Forma

Para Silva Neto (2018) as tolerâncias de forma são desvios que um elemento pode apresentar em relação à sua forma geométrica ideal. A forma de um elemento será correta quando cada um dos seus pontos for igual ou inferior ao valor da tolerância dada. Algumas tolerâncias tratadas serão apresentadas a seguir:

a) Circularidade: A tolerância na seção de medição representada por dois círculos concêntricos, afastados a uma distância “x”, a circunferência deve estar contida dentro dos dois círculos concêntricos no mesmo plano, conforme mostra a figura 5 a seguir (NORMA ABNT NBR 6409, 1997)

Figura 7 - Exemplo de circularidade



Fonte: KREO Metrology (2022)

b) Cilindricidade: O campo de tolerância é limitado por dois cilindros coaxiais, afastados de uma distância “y”, a superfície do cilindro deve estar contida entre dois cilindros coaxiais (ABNT NBR 6409, 1997).

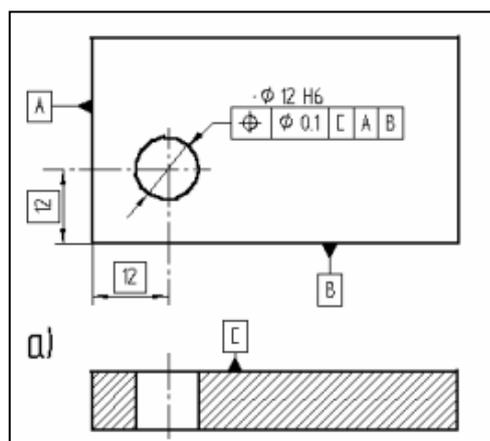
A tolerância de cilindridade engloba as tolerâncias admissíveis na seção longitudinal do cilindro, que compreende conicidade, concavidade e convexidade.

c) Posição: De modo geral pode ser definida como o desvio de um determinado elemento (ponto, reta, plano) em relação a sua posição teórica. A aplicação dessa tolerância serve para especificar as posições relativas dos furos em peças para que ela possa ser montada com o ajuste especificado.

Tolerância de posição de um ponto: é limitado por um círculo de diâmetro “t”, com o centro na posição teórica.

Tolerância de forma e posição de uma linha: o campo de tolerância é limitado por um cilindro de diâmetro “t” e com linha de centro na posição teórica, se o valor tolerado for precedido pelo símbolo diâmetro. A figura 8 mostra um exemplo de representação de tolerância de posição de um furo.

Figura 8 – Tolerância de posição



Fonte: Ferreira (2022)

Neste caso, a linha mediana extraída (real) de cada furo deve estar contida entre dois pares de planos paralelos distantes a uma medida de 0,1mm na direção especificada e perpendiculares entre eles. Cada par de planos paralelos está orientado em relação ao sistema de referências A, B e C.

2.5.4 Rugosidade

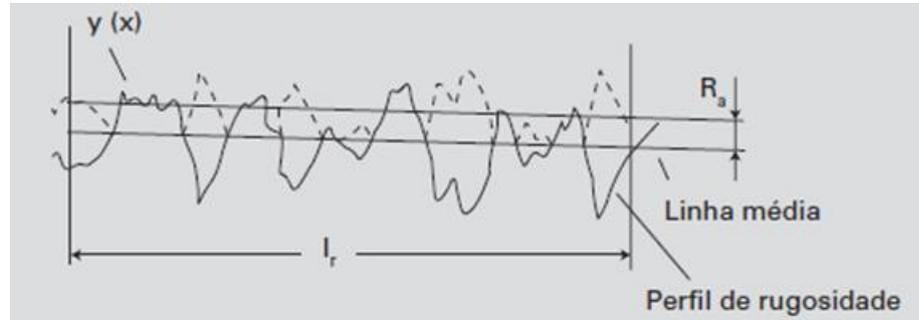
A rugosidade é composta por irregularidades finas decorrentes da ação da ferramenta de corte como marcas de avanço, aresta postiça, desgaste de ferramenta e outros fatores (MACHADO, ABRÃO, COELHO, SILVA, 2011).

Na sequência são apresentados os principais parâmetros de rugosidade utilizados para avaliação no processo de usinagem e que são normalizados pela ABNT NBR ISO 4287 (SANTOS; SALES, 2007):

- Rugosidade Ra: É o mais utilizado, define-se como a média aritmética dos valores absolutos das variações do perfil real em relação à linha média.
- Rugosidade Rq: definido pela raiz quadrada da média dos valores das ordenadas no comprimento avaliado;
- Rugosidade Rt: é a soma do pico mais alto e o vale mais profundo a partir da linha média. Pode ser aplicado em áreas de vedação, superfícies dinamicamente carregadas e de deslizamento onde o perfil efetivo é periódico;
- Rugosidade Rz: total da média entre os cinco maiores picos e vales do comprimento da amostragem.

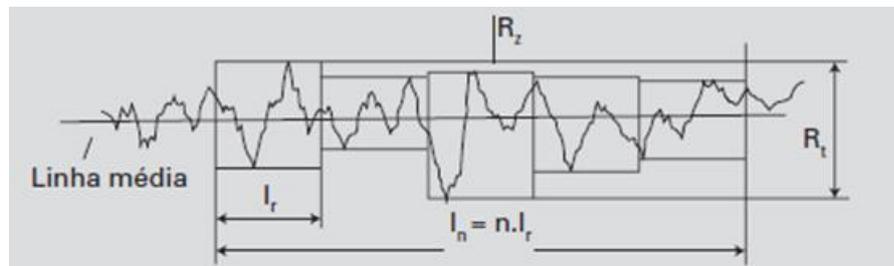
As figuras 9 e 10 apresentam a representação dos parâmetros Ra e Rz e Rt, respectivamente, utilizados para avaliar o processo de usinagem.

Figura 9 - Parâmetros de Rugosidade Ra



Fonte: MACHADO, ABRÃO, COELHO, SILVA (2011)

Figura 10 - Parâmetros de Rugosidade Rz



Fonte: MACHADO, ABRÃO, COELHO, SILVA (2011)

Segundo o fabricante de ferramentas de corte Guhring (2022), os principais aspectos para a rugosidade de um furo não ficar como o esperado são: condição de rigidez ruim, por exemplo: cone de fixação da ferramenta, fixação da peça, condições da máquina, volume insuficiente de fluido de corte e desvios de concentricidade.

2.6 Usinabilidade dos Materiais

Usinabilidade pode ser estabelecida de uma forma geral como a dificuldade de usinar determinado tipo de material, porém esta definição pode ser relativa dependendo da característica tomada como parâmetro para o material a ser trabalhado. Em primeiro lugar devem ser considerados os parâmetros que favorecem a facilidade ou não na usinagem do material, estas são (SANTOS, SALES 2007):

- Tipo e forma de cavaco;
- Condições de corte admissíveis;
- Força de potência de usinagem;
- Temperatura de corte;

- Vida da ferramenta;
- Integridade superficial da peça usinada;
- Propriedades físicas ou mecânicas dos materiais;
- Formação de rebarbas;
- Estabilidade química e metalúrgica do material da peça.

Diante dos parâmetros citados, um material pode apresentar uma usinabilidade melhor, segundo determinado critério e pior em outro.

As características de usinabilidade também estão diretamente ligadas ao método de fabricação da matéria prima, onde é possível obter desempenhos de usinagem distintos em diferentes lotes de um mesmo material (SANTOS, SALES, 2007).

As principais propriedades que afetam a usinabilidade são:

- Dureza;
- Limite de resistência;
- Ductilidade.

2.6.1 Usinabilidade nas Ligas de Alumínio

Para Diniz et al. (2014), as ligas de alumínio possuem boa usinabilidade. Entretanto para Diogenes (2011), quanto aos critérios de usinabilidade baseados na rugosidade e tipo de cavaco, não se pode dizer que o alumínio possua alta usinabilidade. Pois em condição normal o acabamento não é satisfatório e o cavaco tende a ficar alongado. Deve-se atentar a velocidade de corte para obter bom acabamento superficial, e também deve-se verificar a geometria da ferramenta.

Para Santos e Sales (2007), a usinabilidade do alumínio puro apresenta elevada ductilidade, o que leva a produção de um cavaco contínuo e em elevadas áreas de contato cavaco-ferramenta, acarretando em alta força de corte. Também é possível observar em amplas velocidades de corte aplicadas a formação de APC.

Nas ligas de Al-Si a porcentagem de silício é determinante na usinabilidade do material, pois o mesmo passa de uma dureza de 60kgf/cm² (Al-puro) para 400kgf/cm², e sua temperatura de fusão passa de 660°C (Al-puro) para 1420°C, o que leva a um aumento na força e potência necessárias para usinagem. A presença deste elemento faz com que as ligas apresentem características abrasivas, o que reduz a vida das

ferramentas (SANTOS, SALES 2007).

De acordo com DIOGENES (2011) outros fatores que podem influenciar na usinabilidade do alumínio são:

- Variação de impurezas;
- Processos de fundição;
- Tratamentos aplicados.

2.6.2 Liga de Alumínio 7075

As ligas de alumínio da série 7000 possuem como componente majoritário o magnésio, zinco e o cobre (Al, Mg, Zn, Cu) e são tratáveis termicamente (WEINGAERTNER, SCHROETER, 1990). Estas ligas são utilizadas em um grande número de aplicações, como em estruturas nas indústrias aeroespacial, militar e aeronáutica. Pois as mesmas possuem combinações de boas propriedades mecânicas, tais como: boa resistência a corrosão, elevada resistência mecânica específica e boa tenacidade a fratura, além de possuir baixo peso específico (NEVES, 2019).

A liga de Alumínio 7075-T6 possui uma resistência a tração próxima a 570MPa e dureza entre 150 e 180HB. Segundo Coppermetal (2022), esta liga é comparável ao aço, pois tem características de dureza e resistência semelhantes.

2.6.3 Quanto a Seleção das Ferramentas para Alumínio

Para Weingaertner e Schroeter (1990) para seleção do ferramental para usinagem do alumínio é necessário levar em consideração:

- Volume de produção;
- Tipo de operação;
- Equipamento de usinagem;
- Acabamento desejado;
- Tolerâncias dimensionais exigidas;
- Condições de trabalho.

As ferramentas usuais de usinagem utilizadas no alumínio são o aço-rápido, o metal-duro e o diamante. Cada uma com seu campo de aplicação (WEINGAERTNER, SCHROETER, 1990).

a) Aço-rápido: Possui alta tenacidade, alta resistência à quebra, fácil manuseio, e preço favorável em relação aos outros materiais. A alta tenacidade e fácil afiação permitem arestas de corte afiadas, mantendo assim as forças de usinagem em patamares baixos.

b) Metal-Duro: Prefere-se a classe K, o material base desta classe é o carboneto de tungstênio. Metal duro a base de carboneto de titânio é inadequado para a usinagem do alumínio, devido a possui afinidade química entre o alumínio e o titânio. Dentro da classe K utiliza-se o K01, K10 e K20, dependendo de alguns fatores de usinagem, como corte contínuo e mudanças bruscas de temperatura.

c) Diamante: Além de possuir extrema resistência ao desgaste, possui baixo de atrito com o alumínio em específico, o que ocasiona menores temperaturas na zona de corte e possibilita um aumento na velocidade de corte, no entanto o diamante é um material muito frágil. O diamante é importante para dois campos de aplicações: torneamento polido e usinagem de peças muito abrasivas. É utilizado principalmente em grandes lotes de peças ou em furação múltipla em linhas de produção.

2.6.4 Quanto aos Parâmetros de Usinagem no Alumínio

Para Weingaertner e Schroeter (1990), os parâmetros de usinagem devem seguir as recomendações a seguir:

I. Velocidade de corte: A velocidade de corte deve ser tão alta quanto possível, a fim de reduzir custos, tempo de usinagem, diminuir a formação da aresta postiça de corte, os cavacos também quebram melhor, o acabamento superficial melhora.

II. Avanço: Depende do acabamento superficial que se deseja obter, para acabamento usa-se normalmente avanços entre 0,05mm/rot e 0,1mm/rot, e para desbaste, entre 0,1mm/rot e 1mm/rot.

III. Profundidade de corte: Deve ser máxima quanto permitem os limites do equipamento e ferramenta, normalmente utiliza-se profundidades maiores que 0,6mm para desbaste e menores que 0,6mm para operações de acabamento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho realizou uma série de experimentos buscando avaliar a qualidade do furo gerado no processo de furação da liga de alumínio 7075 – T6, alterando os parâmetros da velocidade de corte, avanço e dois materiais comumente utilizados nas ferramentas de corte.

3.1 Materiais

Durante a pesquisa inicial, decidiu-se que o material utilizado deveria apresentar condições adequadas de usinabilidade em furações, para evitar a formação de aresta postiça e permitir a utilização de velocidade de corte com a broca de aço rápido (HSS) próximo da velocidade de corte da broca de metal duro.

É comum a utilização de brocas de aço rápido em furações no alumínio, o que também favorece a escolha do material. O material selecionado foi alumínio 7075 – T6, adquirido em formato de barra retangular, 65x127x500mm. A tabela 2, mostra a composição química e a tabela 3, as propriedades mecânicas do material utilizado neste trabalho.

Tabela 2 - Composição química AL7075-T6

Elemento	Composição (%)
Si	0,4
Fe	0,5
Cu	1,20 - 2,0
Mn	0,3
Mg	2,10 - 2,90
Cr	0,18 - 0,28
Zn	5,10 - 6,10
Ti	0,2
Al	87,17 - 99,00
Outros	0,05 - 0,15

Fonte: Adaptação Alrase Metais (2022)

Tabela 3 - Propriedades mecânicas do AL7075-T6

Limites de Resistência a Tração (MPa)	559
Alongamento mínimo em % (50mm) (1,6mm de espessura)	11
Dureza Brinell (HB)	150

Fonte: Adaptação de Império dos Metais (2022)

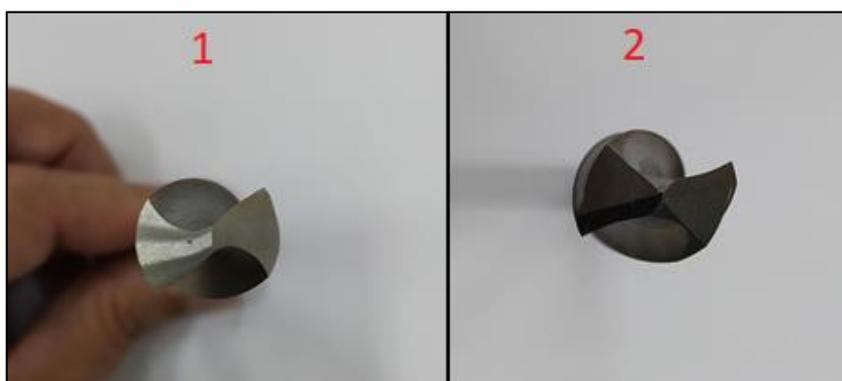
3.2 Ferramentas

As brocas helicoidais selecionadas para o experimento são de dois materiais diferentes, ambas foram adquiridas de uma empresa especializada em ferramentas da região, a primeira broca é de metal duro, que é muito utilizado na indústria metalmeccânica por sua versatilidade e produtividade.

A outra broca, de aço rápido, que é amplamente utilizada para furações em materiais não ferrosos, com um custo inicial de aquisição menor, menor vida útil, mas com possibilidade de fácil reafiação. Ambas são do tipo N, possuem diâmetro de 10mm, contendo ângulo de ponta de 118° e ângulo de hélice de 18°.

A figura 11 apresenta a broca de HSS e Metal duro na vista superior. A figura 12 apresenta as duas brocas na vista lateral. É possível observar a semelhança entre as brocas.

Figura 11 – Broca de HSS e Metal duro, vista superior. 1 – Broca HSS. 2 – Broca Metal duro



Fonte: o Autor (2022)

Segundo o fabricante, a broca de metal duro não possui nenhum tipo de revestimento, apenas acabamento brilhante.

Figura 12 – Broca de HSS e Metal duro, vista lateral. 1 – Broca HSS. 2 – Broca Metal duro



Fonte: o Autor (2022)

3.3 Equipamentos

Os corpos de prova foram usinados em um centro de usinagem vertical de três eixos, da marca OKUMA, modelo MB-46 VAE, com rotação máxima de 15.000rpm, com potência de 22kW / 30cv e comando OSP-300MA. A figura 13 apresenta o modelo do centro de usinagem utilizado.

Figura 13 – Centro de Usinagem Okuma



Fonte: Okuma MB-V Series (2022)

Para análise das ferramentas utilizou-se uma máquina de *pre-set* por feixe de luz e projetor de perfil óptico da DMG modelo VIO 210 (microset), utilizada para verificar altura, batimento, executar medições nas ferramentas, controlar a aresta de

corde. A máquina também foi utilizada para executar as medições das rebarbas geradas na saída dos furos. A figura 14 a seguir, apresenta o equipamento.

Figura 14 – DMG VIO 210 (Microset)



Fonte: o Autor (2022)

Para a medição da qualidade dos furos produzidos foi utilizada uma máquina de medição tridimensional, fabricante ZEISS, modelo ACCURA, que possui *software* CALYPSO. A figura 15 mostra a máquina realizando as medições da peça usinada.

Figura 15 – Máquina tridimensional ZEISS, modelo ACCURA



Fonte: o Autor (2022)

Por fim, para medição da rugosidade foi necessário cortar os corpos de prova ao meio. Foi utilizado um rugosímetro, fabricante MAHR, modelo *perthometer S2*. Para cada furo foi medido o parâmetro Ra. A figura 16 mostra a medição da rugosidade com o rugosímetro.

Figura 16 – Rugosímetro MAHR, modelo perthometer S2.



Fonte: o Autor (2022)

Para determinar o ponto zero da peça na usinagem foi utilizado um apalpador da marca RENISHAW modelo RMP-60 com diâmetro da esfera de 6mm. A figura 17 apresenta o equipamento utilizado.

Figura 17 – Apalpador utilizado



Fonte: o Autor (2022)

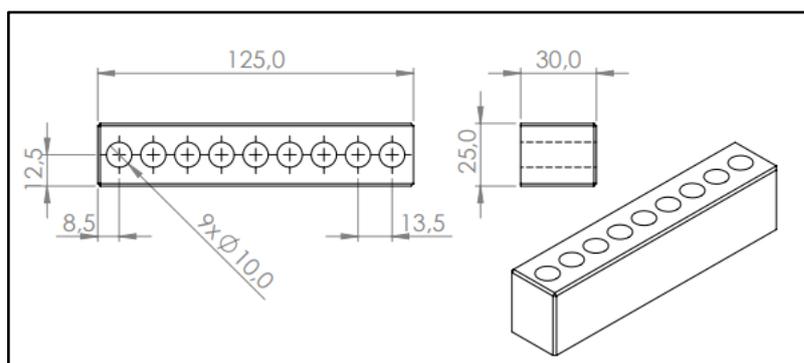
3.4 Corpo de prova

Os corpos de prova foram fresados para garantir o mínimo de erro nas medições posteriores de posição do furo. O desbaste foi realizado com uma fresa de metal duro com diâmetro de 20mm e o acabamento com uma fresa de metal duro diâmetro de 16mm.

Os corpos de prova foram derivados de duas peças retangulares com dimensões de 65x147x30mm, onde foram cortadas ao meio na medida de 65mm, totalizando os quatro corpos de prova. As furações foram realizadas com uma distância entre centros de 13,5mm, também foi feito um chanfro para referência, para facilitar as análises posteriores.

A figura 18 mostra o desenho 2D e a vista isométrica do corpo de prova. (dimensões em milímetros).

Figura 18 - Desenho 2D e vista isométrica do corpo de prova



Fonte: o Autor (2022)

Ao total foram feitos quatro corpos de prova para testar os parâmetros apresentados a seguir.

3.5 Parâmetros de corte e ensaios realizados

Os parâmetros definidos para executar as furações foram selecionados conforme as faixas encontradas na literatura e por catálogos. Nas brocas de aço-rápido, STEMMER (2005), traz que para materiais leves de cavacos longos, como alumínio, devem utilizar uma velocidade de corte de 50 a 120 m/min e avanços entre 0,08 e 0,2 mm/rot para uma broca de 10mm. SKF® (1989), traz velocidades de corte entre 63 a 100 m/min e avanço de 0,22 mm/rot. Nos sites de fabricantes e catálogos trazem também valores próximos aos citados acima.

Já para a broca de metal duro, KENNAMETAL (2022), traz velocidades que variam entre 90 e 270 m/min e avanços de 0,2 a 0,3 mm/rot. Para outro fabricante de ferramentas, TOPTOOLS (2022), as velocidades de corte variam entre 180 a 260 m/min e os avanços ficam entre 0,2 a 0,3 mm/rot. Guhring (2022) traz velocidades entre 280 a 320 m/min e avanços de 0,3 a 0,4 mm/rot. A tabela 4 a seguir, mostra os parâmetros de corte utilizados.

Os ensaios utilizaram duas velocidades de corte e três avanços diferentes para cada broca testada. Foram realizados três furos para cada condição de corte.

A tabela 4 mostra os parâmetros utilizados na furação do corpo de prova com a broca de aço rápido (HSS).

Tabela 4 – Parâmetros de corte utilizados para broca de HSS.

BROCA 1 (HSS-CP1)			BROCA 1 (HSS-CP2)		
n° do furo	f (mm/rot)	vc (m/min)	n° do furo	f (mm/rot)	vc (m/min)
1	0,1	60	1	0,1	100
2			2		
3			3		
4	0,2	60	4	0,2	100
5			5		
6			6		
7	0,3	60	7	0,3	100
8			8		
9			9		

Fonte: o Autor (2022)

Neste caso, foram utilizados para broca de HSS velocidades de corte de: $vc=60\text{m/min}$ e $vc=100\text{m/min}$, para atender as recomendações. E os avanços foram de 0,1mm/rot, 0,2mm/rot e 0,3mm/rot respectivamente.

A tabela 5 mostra os parâmetros utilizados na furação com a broca de metal duro (MD). Foram utilizados $vc=100\text{m/min}$ e $Vc=180\text{m/min}$ e avanços de 0,1mm/rot, 0,2mm/rot e 0,3mm/rot respectivamente.

Tabela 5 – Parâmetros de corte utilizados para broca de metal duro (MD)

BROCA 2 (MD-CP3)			BROCA 2 (MD-CP4)		
n° do furo	f (mm/rot)	vc (m/min)	n° do furo	f (mm/rot)	vc (m/min)
1	0,1	100	1	0,1	180
2			2		
3			3		
4	0,2	100	4	0,2	180
5			5		
6			6		
7	0,3	100	7	0,3	180
8			8		
9			9		

Fonte: o Autor (2022)

Todos os ensaios foram realizados utilizando fluidos de corte. O fluido de corte utilizado foi o Castrol hystol 6545, com diluição na faixa de 6% a 8%. A aplicação foi realizada através de dois jatos direcionados para a ponta da broca. A furação foi direta, sem retornos para remoção de cavaco e refrigeração da ponta da broca (pica-pau).

3.6 Métodos

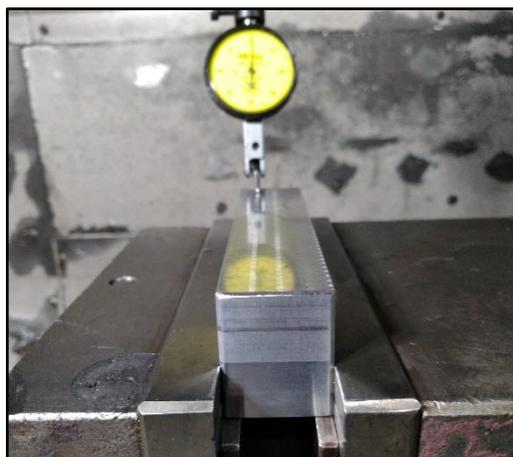
3.6.1 Fixação e verificação do alinhamento do corpo de prova

Primeiramente, antes dos testes, verificou-se o alinhamento da morsa utilizada para fixação, através de um relógio apalpador. Após zerar a morsa, também foi verificado a calibração do apalpador (PROBE) utilizado para definir o ponto zero da peça.

Foi realizado a usinagem do contorno da peça, após isto a peça foi virada e bem apoiada sobre calços de mesma altura para acabar a espessura, por último a peça voltou para o primeiro lado e foi apoiada sobre calços, onde é possível passar o relógio apalpador para o alinhamento nos eixos X, Y e garantir ou minimizar as variações para as medições posteriores.

Todos os alinhamentos ficaram com menos de 0,01mm de variação conforme figura 19 a seguir.

Figura 19 – Fixação da peça e alinhamento antes da furação.



Fonte: o Autor

3.6.2 Medição e preparação das brocas

Antes da preparação das brocas nos cones de fixação, foi medido o diâmetro das brocas, as medições foram feitas em sua ponta e na haste, para medir foi utilizado um micrometro de resolução de 0,01mm, também foi medido o ângulo de ponta das brocas através de um goniômetro. Ambos resultados são apresentados na tabela 6 a seguir.

Tabela 6 – Medições das brocas

	Substrato	
	HSS	MD
Diâmetro (ponta)	9,98mm	9,99mm
Diâmetro (haste)	9,94mm	9,99mm
Ângulo de ponta	59° (118°)	59° (118°)

Fonte: o Autor (2022)

As brocas foram fixadas através de cones hidráulicos de auto torque, mantendo todo o sistema de peça-ferramenta rígido. O batimento das ferramentas foi verificado na máquina DMG VIO 210 (Microset), o batimento não deve exceder 20 microns ou 0,02mm (SANDVIK, 2022).

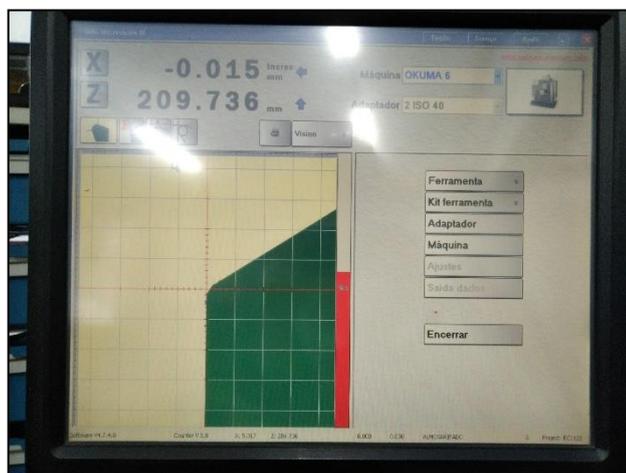
O batimento da ferramenta de HSS ficou com 0,015mm e a de metal duro ficou com 0,005mm. A figura 20 mostra as brocas fixadas e a figura 21 mostra a verificação do batimento.

Figura 20 – fixação das brocas



Fonte: o Autor (2022)

Figura 21 – Verificação do Batimento, máquina DMG VIO 210 (Microset)



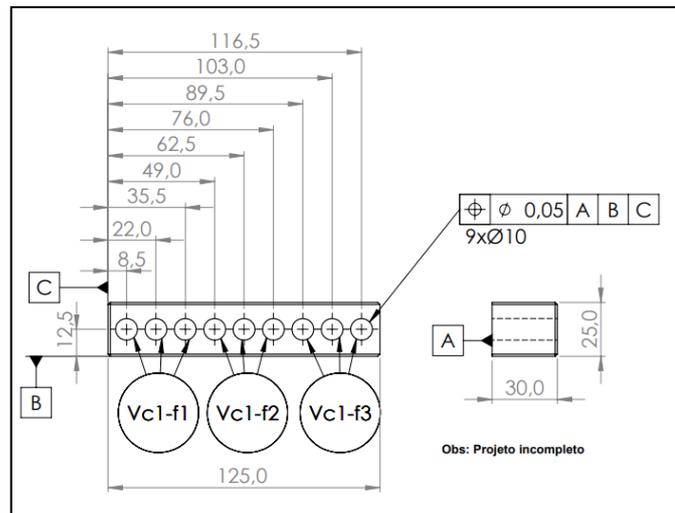
Fonte: o Autor (2022)

3.6.3 Medição dos erros de posição dos furos

As medições dos desvios em X e Y foram feitas a partir das faces de referência A, B e C. Com os resultados obtidos foi calculado a posição verdadeira dos furos.

Foram realizados três ensaios para cada condição testada, conforme parâmetros apresentados anteriormente na tabela 4 e 5, conforme figura 22. Também está representado na figura 22 as faces de referência utilizadas.

Figura 22 - metodologia aplicada



Fonte: o Autor (2022)

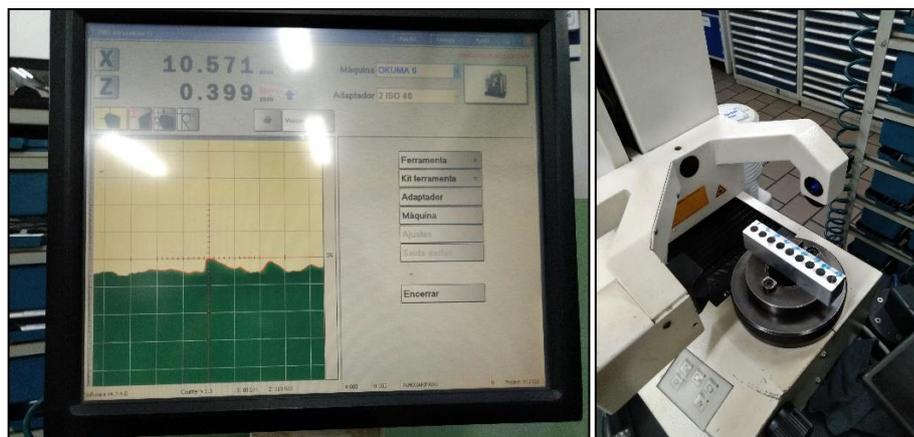
Conforme a figura, para cada velocidade de corte (V_{c1}) foi utilizado três avanços ($f1-0,1\text{mm/rot}$, $f2-0,2\text{mm/rot}$ e $f3-0,3\text{mm/rot}$), foram usinados três furos para cada condição testada.

O cálculo de posicionamento verdadeiro de um furo é dado pela fórmula: $2 \cdot \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$ onde: Δx é o desvio entre a coordenada “x” medida e a coordenada “x” teórica, Δy é o desvio entre a coordenada “y” medida e a coordenada “y” teórica (GD&T *Basics*).

3.6.4 Medição das rebarbas

A medição da rebarba foi feita apenas na saída do furo, utilizando o projetor de perfil óptico, máquina DMG VIO 210 (Microset), gerando uma média da altura da rebarba para os três ensaios para cada condição.

Figura 23 – Medição da altura da rebarba



Fonte: o Autor (2022)

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

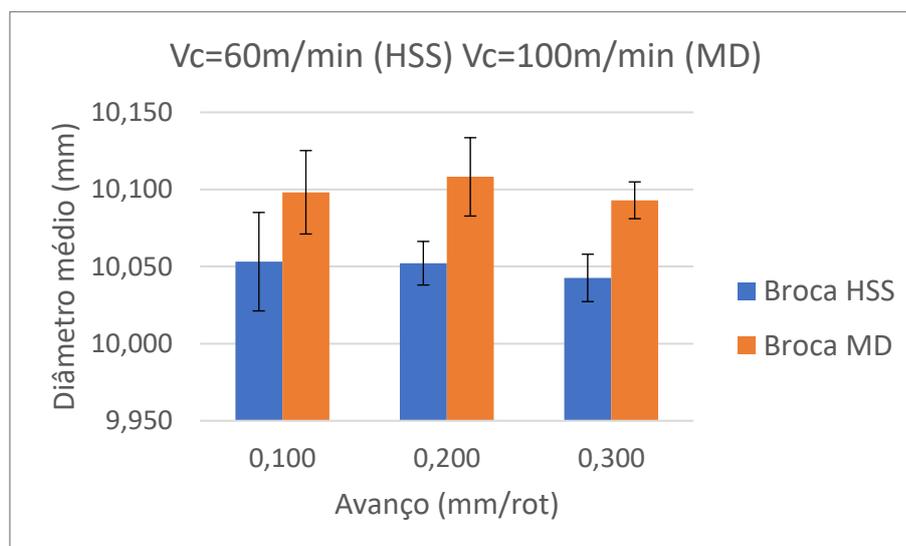
Para a análise dos dados foram estabelecidas duas condições para comparação. A condição 1 é em que as brocas estão em velocidade de corte baixa $v_c=60\text{m/min}$ (HSS), $v_c=100\text{m/min}$ (MD) e a outra, condição 2, em que estão em velocidades de corte alta $v_c=100\text{m/min}$ (HSS), $v_c=180\text{m/min}$ (MD).

4.1 Diâmetro das Furações

O diâmetro foi coletado a partir de quatro pontos no início do furo e próximo a saída, gerando dois diâmetros por furo. Com os valores calculado o diâmetro médio e o desvio padrão.

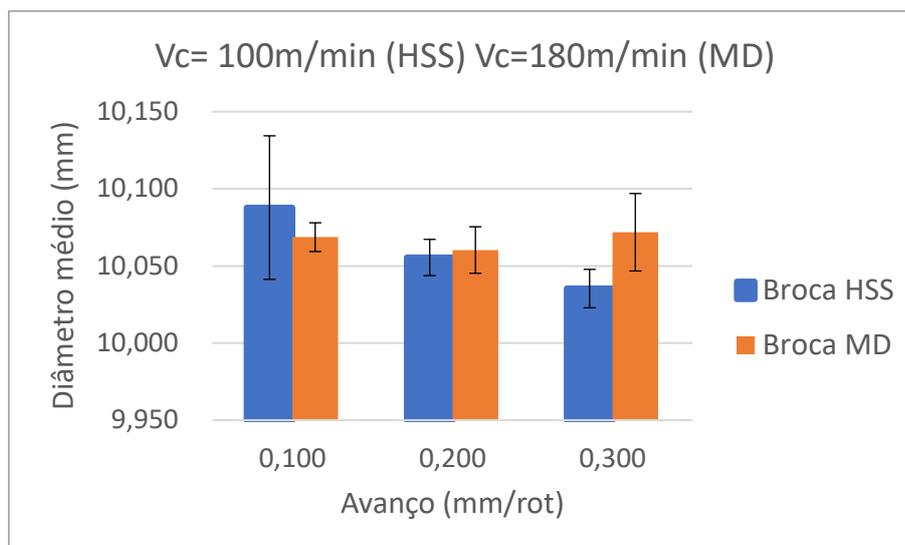
A figura 24 e 25 mostram um comparativo dos resultados obtidos com as brocas de HSS e MD, para o diâmetro médio do furo, dentro das condições citadas.

Figura 24 – Diâmetros obtidos para condição 1



Fonte: o Autor (2022)

Figura 25 - Diâmetros obtido para condição 2

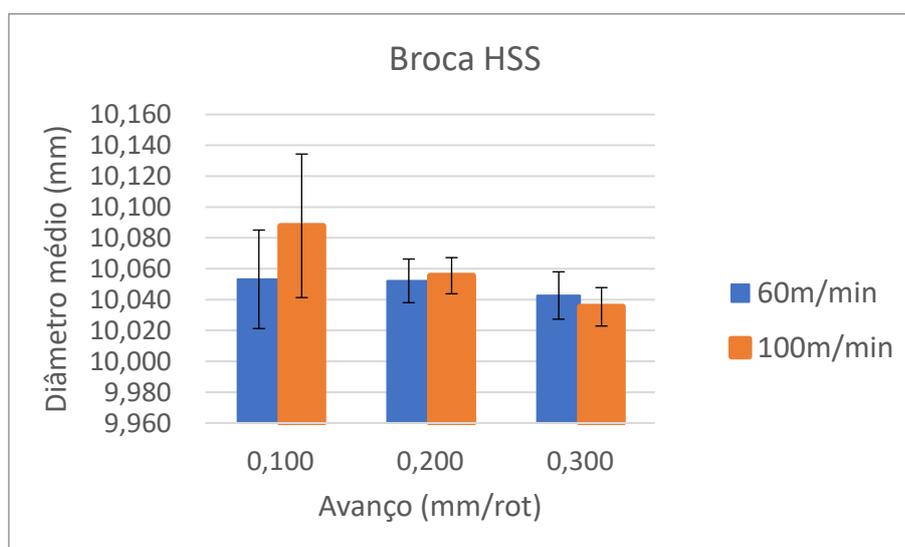


Fonte: o Autor (2022)

Nas figuras 24 e 25 é possível observar que em ambas as condições a broca de metal duro apresentou, para a maioria das condições testadas, um diâmetro maior do furo. A broca de aço rápido, na condição de velocidade de corte mais elevada, conforme figura 25, apresentou uma maior variação de medida em relação ao diâmetro médio, quando comparado com a broca de metal duro.

A figura 26 mostra um comparativo da broca de aço rápido trabalhando em baixa e alta velocidade de corte.

Figura 26 – Diâmetros obtidos pela broca de HSS



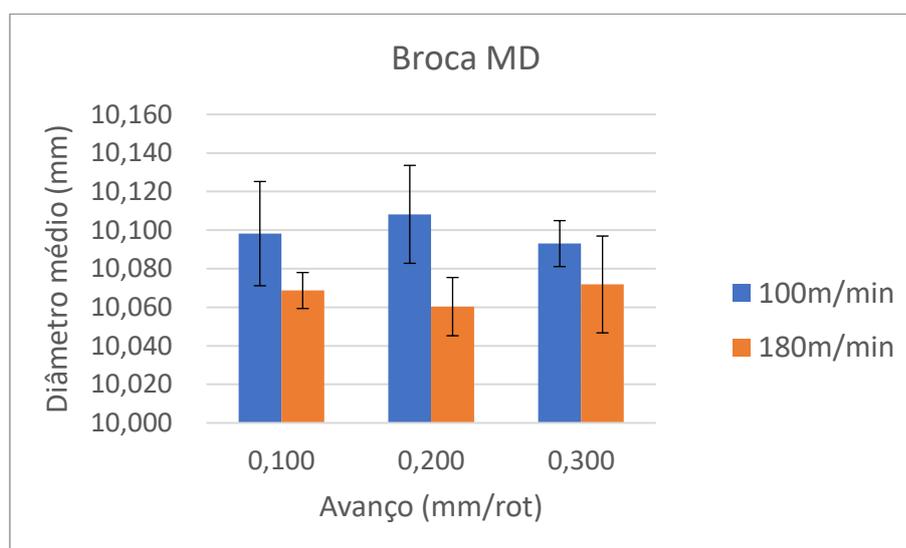
Fonte: O Autor (2022)

Analisando a figura 26 (Broca de HSS) é possível observar que a pior precisão do furo quanto ao diâmetro médio ocorreu para a combinação de alta velocidade de corte (100m/min) e baixo avanço (0,1mm/rot).

É possível observar que não houve variação significativa do diâmetro do furo com o aumento do avanço para a velocidade de corte de 60m/min. Por outro lado, é possível observar uma redução do diâmetro com o aumento do avanço para velocidade de corte mais elevada (100m/min). Também é possível observar uma tendência de melhora na precisão do furo com o aumento do avanço. Esta tendência é maior para a velocidade de corte de 100m/min.

A figura 27 mostra um comparativo da broca de metal duro trabalhando em baixa e alta velocidade de corte.

Figura 27 – Diâmetros obtidos pela broca de MD



Fonte: O Autor (2022)

Analisando a figura 27 (Broca de MD) é possível perceber que o aumento da velocidade de corte ocasionou uma redução no diâmetro médio do furo, enquanto o fator avanço não mostrou grandes alterações. O que indica que possivelmente na velocidade de corte baixa ocorreu formação de aresta postiça de corte, conforme Weingaertner e Schroeter (1990).

Para broca de MD o aumento do avanço não apresentou influência significativa no diâmetro do furo.

De forma geral, a melhor tolerância gerada para o diâmetro do furo, dentre todas as condições testadas, ocorreu com a broca de metal duro, que obteve um desvio

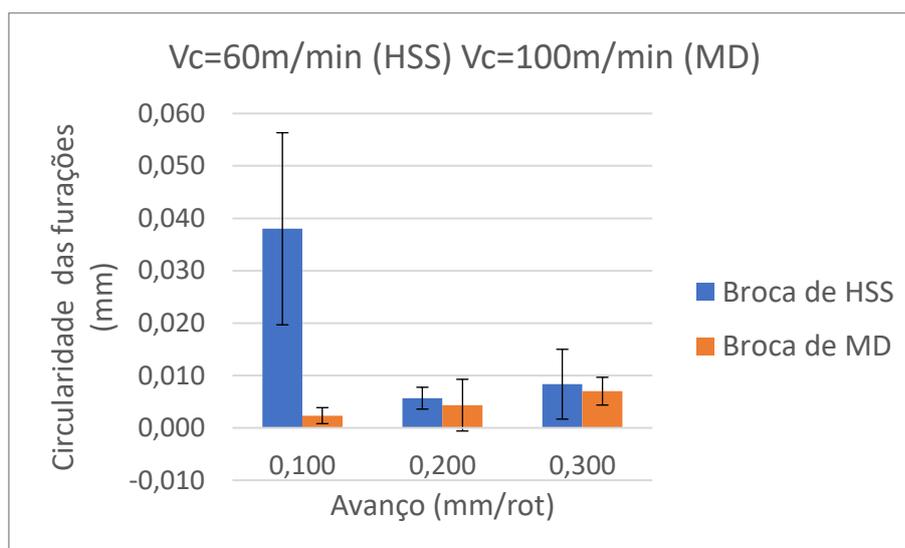
padrão de 0,009mm entre as amostras, para $v_c=180\text{m/min}$ e $f=0,1\text{mm/rot}$.

4.2 Circularidade das furações

A circularidade das furações foi determinada junto com a medição do diâmetro, o apalpador da máquina tridimensional coletou os valores de quatro pontos a uma distância de 90° dentro de um círculo, totalizando os 360° . A circularidade foi tirada de duas regiões, na entrada do furo e próximo a saída.

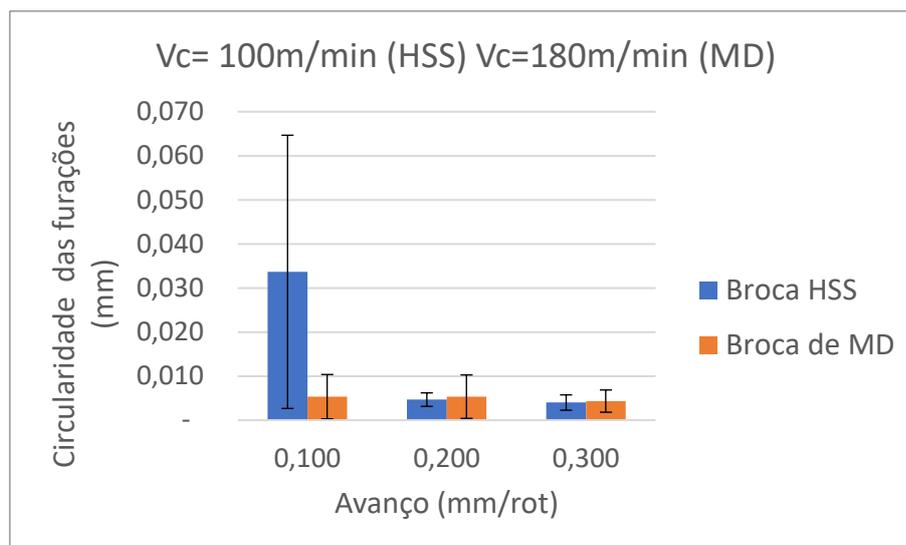
No geral os valores de circularidade encontrados na entrada do furo foram superiores que os obtidos na saída do furo. Apenas o maior valor de circularidade de cada furo foi utilizado nos gráficos a seguir. Com isso foi calculado a média e o desvio padrão, que será apresentado na figura 28 e 29.

Figura 28 – Circularidade obtida para condição 1



Fonte: O Autor (2022)

Figura 29 – Circularidade obtida para condição 2



Fonte: O Autor (2022)

Observando a figura 28 é possível verificar que para condição 1, a broca de metal duro teve os melhores resultados para circularidade, também é possível notar que para o avanço de 0,1 mm/rot a broca de aço rápido apresentou um valor de circularidade muito superior quando comparado com os outros avanços. Para broca de metal duro é possível observar um pequeno aumento da circularidade com o aumento do avanço.

Na figura 29 é possível verificar que, para condição 2, apenas para o avanço de 0,1mm/rot a broca de HSS apresentou um resultado de circularidade superior quando comparada com a broca de metal duro. É notório também que com o aumento do avanço a broca de HSS apresentou uma redução ou melhora da circularidade. Para broca de metal duro na velocidade alta, o fator avanço não mostrou grande influência na circularidade.

Para ambas velocidades de corte, a broca de HSS mostrou ter melhores resultados com o avanço superiores ou iguais há 0,2mm/rot, pode se dizer que, com a utilização de um avanço maior, gerou-se um corte mais efetivo, proporcionando uma quebra de cavaco mais efetiva (aumenta a espessura de corte, facilitando a quebra). Resultados semelhantes foram encontrados por Vieira et al (2017).

De modo geral para a broca de HSS, em ambas velocidades de corte testadas apresentaram melhores circularidades com avanço igual ou superior a 0,2mm/rot. A velocidade de corte quando aumentada apresentou uma melhora da circularidade para maioria dos resultados. O fator avanço também melhorou os resultados de

circularidade.

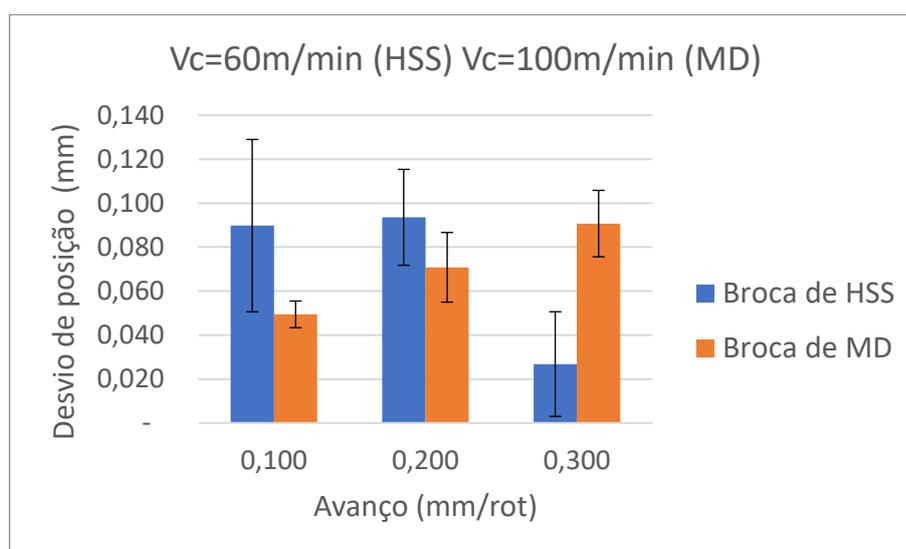
Para broca de MD, o avanço aumentou a circularidade para quase todos os resultados e a velocidade de corte não mostrou ter grande significância.

Contudo, a melhor circularidade encontrada para broca de metal duro foi de 0,001mm para $v_c=100\text{m/min}$ e $f=0,1\text{mm/rot}$ e para a broca de aço rápido foi de 0,002mm para $v_c=100\text{m/min}$ e $f=0,3\text{mm/rot}$.

4.3 Desvio ou Posicionamento das furações

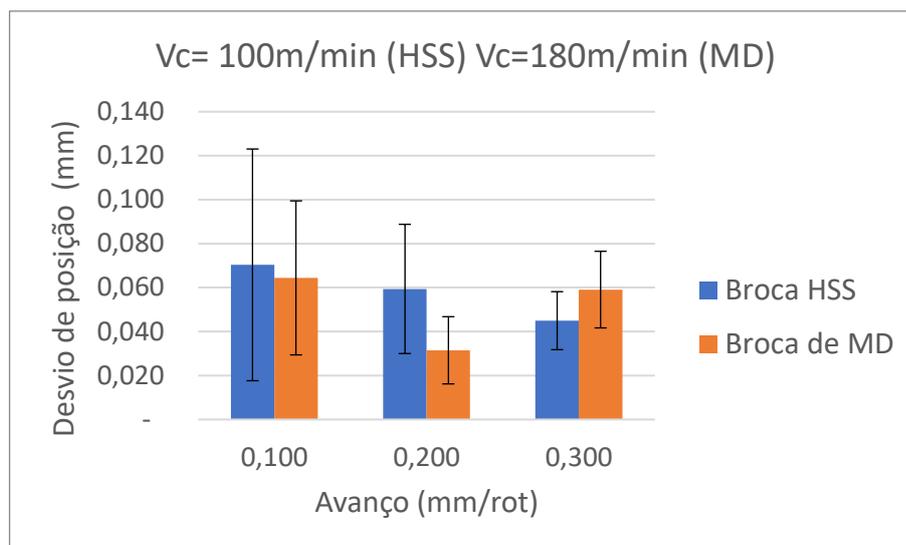
Os valores das coordenadas X e Y foram coletados e montados em uma planilha, todos os valores positivos, realizou-se então o cálculo da posição verdadeira do furo, feito isto, foi calculado uma média com os resultados e o desvio padrão. Como mostra a figura 30 e 31.

Figura 30 – Desvio obtido para condição 1



Fonte: O Autor (2022)

Figura 31 - Desvio obtido para condição 2



Fonte: O Autor (2022)

Na figura 30, para condição 1, a broca de metal duro aumentou seu desvio gradativamente conforme o aumento do avanço, em contrapartida a de HSS apresentou o melhor resultado com o maior avanço.

Analisando a figura 31 é possível observar que, com a maior velocidade de corte, para a maioria dos resultados as brocas melhoraram o posicionamento dos furos. Nesta condição nota-se que, para broca de HSS, o posicionamento melhorou gradativamente conforme o aumento do avanço, enquanto na broca de metal duro, apenas para $f=0,2\text{mm/rot}$, mostrou um melhor do resultado.

De modo geral para a broca de HSS, com o aumento do avanço houve uma redução no desvio da furação para maioria dos resultados e com o aumento da velocidade de corte também reduziu a maioria dos desvios das furações.

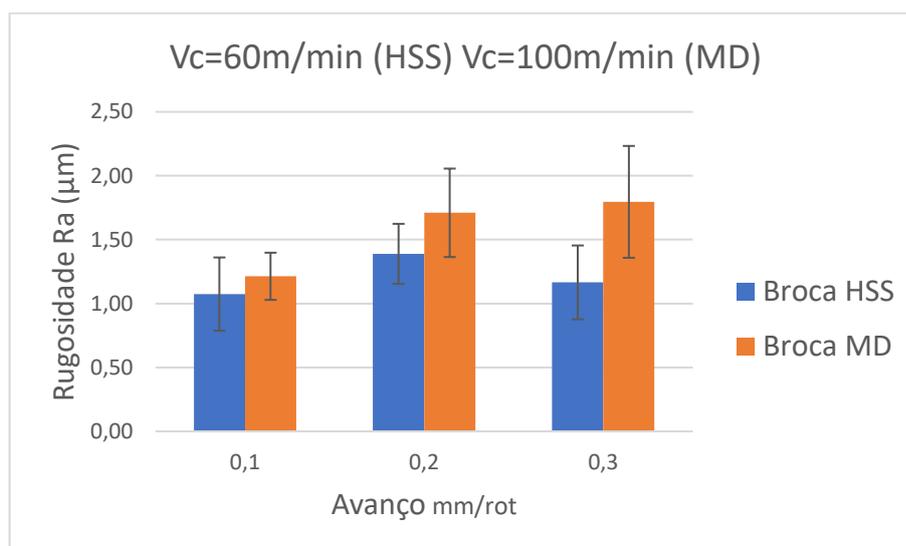
Para broca de MD, o aumento do avanço ocasionou um aumento do desvio para velocidade de corte baixa, já na velocidade de corte alta o avanço apresentou uma melhora dos desvios, o efeito da velocidade de corte, quando aumentada reduziu os valores de desvio para a maioria dos resultados.

O melhor posicionamento de $0,027\text{mm}$ foi encontrado pela broca de HSS com $vc=60\text{m/min}$ e $f=0,3\text{mm/rot}$. Para broca de metal duro o melhor posicionamento encontrado foi de $0,031\text{mm}$ com $vc=180\text{m/min}$ e $f=0,2\text{mm/rot}$.

4.4 Rugosidade das furações

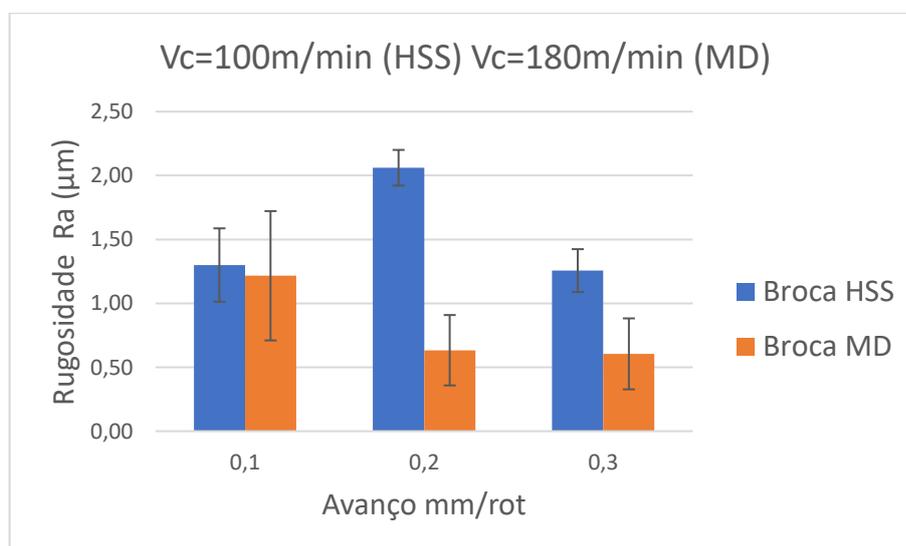
Após a medição da rugosidade foi feita uma média dos resultados dos três furos para cada parâmetro e calculado o desvio padrão. A figura 32 e 33 mostram os resultados obtidos dentro das condições.

Figura 32 – Rugosidade obtida para condição 1



Fonte: O Autor (2022)

Figura 33 – Rugosidades obtidas para condição 2



Fonte: O Autor (2022)

Na figura 32 nota-se que a broca de metal duro aumentou gradativamente a rugosidade com o aumento do avanço e que para todos os resultados a broca de HSS apresentou uma rugosidade inferior quando comparada com a broca de metal duro.

Já na figura 33 é possível notar que com o aumento da velocidade de corte a

os resultados para a broca de MD melhoraram, principalmente a partir do avanço 0,2 - 0,3mm/rot e para a broca de HSS a alteração na velocidade de corte não teve influência significativa nestes resultados, entretanto para o avanço de 0,2mm/rot a broca de HSS apresentou um pequeno aumento na rugosidade.

Quando aumentamos a velocidade de corte, segundo Hayajneh apud Vieira et. al (2001), o aumento da temperatura melhora o cisalhamento do material e minimiza o efeito da formação de aresta postiça melhorando a qualidade superficial, o que possivelmente ocorreu com a broca de MD.

De modo geral, para a broca de HSS, ao aumentar o avanço notou-se um pequeno aumento na rugosidade, o aumento da velocidade de corte só foi significativa para o avanço de $f=0,2\text{mm/rot}$, para os demais avanços não se mostrou significativa.

Para broca de MD, a rugosidade aumentou gradativamente conforme avanço para velocidade de corte baixa, enquanto para velocidade alta apresentou uma melhora. A velocidade de corte teve influência significativa para melhora da rugosidade, principalmente para os avanços de $f=0,2 - 0,3\text{mm/rot}$.

O Melhor resultado obtido na rugosidade foi para a broca de metal duro com $vc=180\text{m/min}$ e $f=0,2$ e $0,3\text{mm/rot}$.

4.5 Rebarbas na saída das furações

O processo de furação gerou poucas rebarbas na saída do furo. As rebarbas geradas em todas os testes foram do tipo uniforme e tipo coroa, conforme classificação apresentada na figura 6. A figura 34 mostra os tipos de rebarbas obtidos no processo para as duas brocas nas condições 1 e 2.

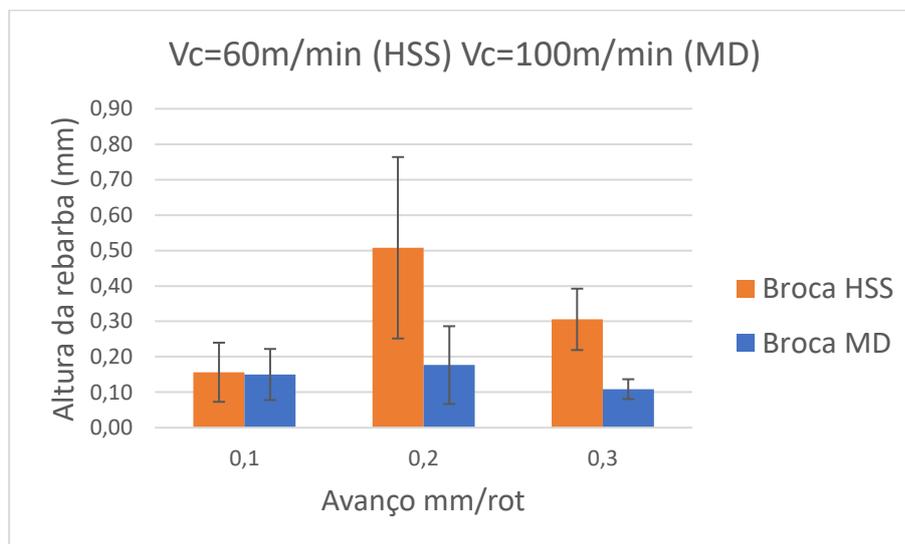
Figura 34 – Rebarba obtidas no processo de furação. 1 – Tipo uniforme. 2 – Tipo Coroa



Fonte: o Autor (2022)

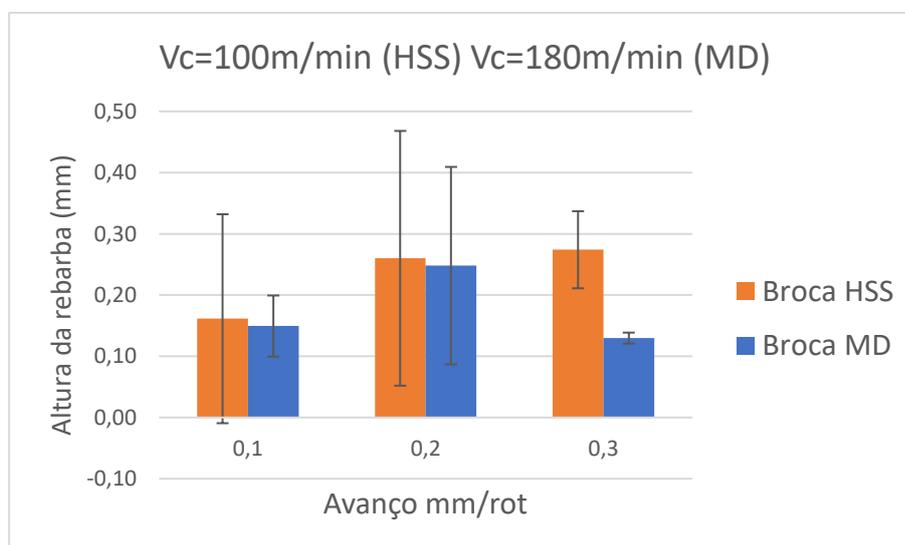
A medição da rebarba foi feita a partir da face usinada até o ponto mais alto gerado na saída da furação, com os valores foram retiradas as médias e calculado o desvio padrão. A figura 35 e 36 apresentam a média das alturas dentro das respectivas condições.

Figura 35 – Altura das rebarbas para condição 1



Fonte: O Autor (2022)

Figura 36 - Altura das rebarbas para condição 2



Fonte: O Autor (2022)

Analisando os resultados, pode-se observar que a broca de MD apresentou melhores resultados para todos os testes, o aumento da velocidade de corte não mostrou grande influência na altura da rebarba para as duas brocas. Para Abdelhafeez et al. (2015), em seu estudo quando realizou a furação em duas ligas de alumínio,

também não encontrou grande influência da velocidade de corte na formação de rebarbas.

Avaliando a figura 35, para velocidade baixa, é possível dizer que para broca de metal duro, o avanço não teve influência na altura da rebarba de forma significativa, porém para broca de HSS apresentou influência, aumentando a altura da rebarba com aumento do avanço.

Observando a figura 36, para velocidade alta, é possível dizer que ao aumentar o avanço para a broca de HSS, a rebarba aumentou gradativamente, mostrando que o avanço tem influência para a broca de HSS. Resultados semelhantes foram obtidos por Pereira (2018) ao furar a liga de alumínio 6063-T5 com brocas de HSS, com ângulos de hélice tipo N. Entretanto para a broca MD, os melhores resultados foram encontrados para $f=0,3\text{mm/rot}$.

De modo geral, para a broca de HSS, o aumento do avanço entre 0,1 e 0,2 mm/rot, ocasionou uma tendência de aumento da rebarba na saída do furo, enquanto o aumento da velocidade de corte não mostrou ser significativo.

Para a broca de MD, a alteração do avanço não mostrou ter resultados significativos, mas apresentou o pior resultado com $f=0,2\text{mm/rot}$ para $vc=180\text{m/min}$. O aumento da velocidade de corte não mostrou ter influência sobre os resultados.

O melhor resultado para ambas as condições foi obtido para a broca de MD com $vc=100\text{m/min}$ e $f=0,3\text{mm/rot}$, onde gerou uma rebarba de apenas 0,11mm. A broca de HSS apresentou uma menor geração de rebarba para $vc=60\text{m/min}$ e $f=0,1\text{mm/rot}$, onde gerou uma rebarba de 0,16mm.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou fazer uma análise comparativa na qualidade da furação entre dois materiais para ferramentas utilizados na indústria da usinagem. Para isso foi utilizado um teste prático de usinagem, afim de verificar a qualidade dos furos gerados por estas ferramentas.

De acordo com as análises após o experimento prático da furação do Alumínio 7075-T6 utilizando uma broca de aço rápido e metal duro é possível concluir que:

- A broca de HSS mostrou-se competitiva em diversos resultados como cita na literatura Groover (2014) para produções de baixa e média escala;
- Em ambos os testes e velocidades a broca de HSS apresentou um menor diâmetro do furo, entretanto a broca de MD obteve a melhor tolerância para o diâmetro do furo;
- Com o aumento da velocidade de corte, notou-se uma redução nos diâmetros para todos os avanços na broca de MD;
- A broca de MD trouxe melhores resultados para circularidade;
- A rugosidade das furações teve influência do avanço para a broca de MD;
- A broca de MD apresentou a menor rugosidade;
- Para o posicionamento ambas brocas apresentaram valores próximos, porém a broca de HSS apresentou a melhor posição do furo;
- As rebarbas geradas no trabalho foram do tipo uniforme e coroa;
- A broca de MD teve a menor formação de rebarbas para todos os testes executados e com os menores valores de desvio padrão.

SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar o estudo comparativo da qualidade do furo com uso de brocas com insertos intercambiáveis. Onde pode-se alterar o inserto.

Realizar um estudo o esforço de corte gerado para furações de grande diâmetro com brocas de inserto intercambiáveis. Onde exige um maior esforço da máquina, o que pode resultar em uma usinagem instável em uma qualidade do furo ruim.

Replicar os dados do experimento, utilizando afiações especiais para as brocas. Afim de verificar se as afiações geram melhorias nos resultados, assim como citado na literatura.

Realizar um estudo da dificuldade em furações cruzadas e profundas em sistemas de refrigeração de peças utilizadas em moldes de injeção. Em algumas peças de moldes de injeção de alumínio e plástico, há uma necessidade de criar um sistema de refrigeração interna destas peças, muitas vezes com furações e em materiais duros e difíceis de usinar. Nestas furações, as mesmas se cruzam, onde ao utilizar brocas canhão indicadas para furação profundas, no momento em que os furos se cruzam, cria uma vibração que em alguns casos, é possível controla-los reduzindo os parâmetros de corte, em últimos casos pode levar a quebra da broca.

REFERÊNCIAS

ABDELHAFEEZ, A.m. et al. **Burr Formation and Hole Quality When Drilling Titanium and Aluminium Alloys**. ScienceDirect. Birmingham, UK, p. 230-235. 2015.

ALRASE, Metais. **Ficha técnica propriedades químicas**. 2022. Disponível em: <https://www.alrasemetais.com.br/ficha-tecnica/>. Acesso em: 27 mar. 2022.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **Y14.5**: Dimensioning and Tolerancing. New York, 2018. 347 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 4287**: Especificações Geométricas do produto - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro, 2002. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5409**: Brocas Helicoidais - Termos, definição e tipos. 1 ed. Rio de Janeiro, 2009. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6409**: Tolerâncias Geométricas. Rio de Janeiro, 1997. 19 p.

AURICH, J.C. et al. Burrs—Analysis, Control and Removal. **Cirp Annals - Manufacturing Technology**. Germany, p. 519-542. 2009.

CARDOSO, Marlon José. **ANÁLISE DO PROCESSO DE FURAÇÃO PROFUNDA NO AÇO SAE 4144M ENDURECIDO UTILIZANDO MQL E BROCA HELICOIDAL REVESTIDA**. 2014. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – Ppgem, Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus de Curitiba, Curitiba, 2014.

CASTILLO, Willian Jefferson González. **Furação Profunda de Ferro Fundido Cinzento GG25 com Brocas de Metal-duro com Canais Retos**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005.

COPPERMETAL. **Alumínio**. 2022. Disponível em: <https://www.coppermetal.com.br/aluminio/>. Acesso em: 09 mar. 2022.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 9. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2014.

DIOGENES, ANDERSON CARMO; “**Estudo da Usinagem por torneamento de ligas de alumínio**”. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1970. 800 p.

FERREIRA, Luis Miguel. **Toleranciamento Geométrico**. 2022. Disponível em: http://www.esta.ipt.pt/download/disciplina/546__Toleranciamento%20Geom%C3%A9trico.pdf. Acesso em: 22 jun. 2022.

GD&T, Basics. **True Position**. 2014. Disponível em: <https://www.gdandtbasics.com/true-position>. Acesso em: 23 jun. 2022.

GROOVER, Mikell P. **Introdução aos Processos de Fabricação**. Rio de Janeiro: Ltc, 2014. 758 p. Traduzido por Anna Carla Araujo.

GUHRING. **Troubleshooting For Drills**: support technical. Support Technical. 2022. Disponível em: <https://www.guhring.com/Support/Technical/Troubleshooting-For-Drills>. Acesso em: 05 mar. 2022.

IMPÉRIODOSMETAIS. **Blanques de alumínio**. 2022. Disponível em: <https://www.imperiodosmetais.com.br/blanques-de-aluminio#>. Acesso em: 27 abr. 2022.

KENNAMETAL. **Brocas de metal duro sólidas**: brocas hps. Brocas HPS. 2022. Disponível em: <https://www.kennametal.com/pt/pt/products/fam.b285-hp-5-x-d-haste-d-brocas-hps-beyond.100161515.html>. Acesso em: 08 mar. 2022.

KIM, Jinsoo; MIN, Sangkee; DORNFELD, David A. Optimization and Control of Drilling Burr Formation of AISI 304L and AISI 4118 Based on Drilling Burr Control Charts. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**. Berkeley, CA, USA, p. 923-936. 2001.

KREO, Metrology. **MEDIÇÃO TRIDIMENSIONAL- CIRCULARIDADE**. 2022. Disponível em: <https://www.kreometrology.com/medicao-tridimensional-circularidade.html>. Acesso em: 13 abr. 2022.

MACHADO, Alisson Rocha; COELHO, Reginaldo Teixeira; ABRÃO, Alexandre Mendes; SILVA, Márcio Bacci da. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

NEVES, Tiago Roberto da Cunha Costa. **COMPORTAMENTO ELASTO-PLÁSTICO CÍCLICO DA LIGA DE ALUMÍNIO 7075-T651**. 2019. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2019.

OKUMA. **OKUMA - MB-46V Series**. 2022. Disponível em: <https://www.okuma.eu/products/by-process/milling/mb-v-series/mb-46vab/>. Acesso em: 13 abr. 2022.

PEREIRA, Nathan Bitencourt. **ANÁLISE DA FORMAÇÃO DE REBARBA E RUGOSIDADE NA FURAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO 6063 T5 COM BROCA HELICOIDAL**. 2018. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, 2018.

SANDVIK, Coromant. **Usinagem de um furo**: batimento radial da ferramenta. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/drilling/pages/default.aspx>. Acesso em: 04 maio 2022.

SANTOS; S. C. e SALES, W. F., “**Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais**”, São Paulo: Editora Artliber, 2007.

SILVA NETO, João Cirilo da. **Metrologia e Controle Dimensional**: conceitos, normas e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

SKF, Ferramentas S.A. **Manual Técnico SKF**. 2. ed. São Paulo: SKF Ferramentas, 1989. 261 p.

SOARES FILHO, Martiliano. **Estudo da Formação de Rebarbas no Processo de Furação**. 1995. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1995.

STEMMER, Caspar Erich. **FERRAMENTAS DE CORTE I**. 7. ed. Florianópolis: Editora da Ufsc, 2007. 249 p. (SERIE DIDÁTICA).

STEMMER, Caspar Erich. **FERRAMENTAS DE CORTE II**. 3. ed. Florianópolis: Editora da Ufsc, 2005. 314 p. (SERIE DIDÁTICA).

TOPTOOLS. **EXALTT11**: brocas de metal duro sem refrigeração interna. 2022. Disponível em: <https://www.toptools.com.br/exaltt>. Acesso em: 05 abr. 2022.

VIEIRA, Jéssica Tito et al. **Influência da Afição de Brocas HSS no Processo de Furação da Liga de Alumínio 7075**. 8º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Salvador, BA. 2015.

WEINGAERTNER, Walter Lindolfo; SCHROETER, Rolf Bertrand. **Tecnologia de Usinagem do Alumínio e Suas Ligas**. São Paulo: Alcan Alumínio do Brasil, 1990. 73 p.

WICK, Charles; DROZDA, Thomas. **Tool and Manufacturing Engineers Handbook**. 4. ed. Michigan: Society Of Manufacturing Engineers, 1983. 1484 p.

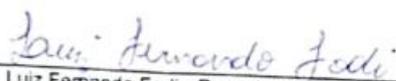
Solicitação de Autorização para Pesquisa

Jaraguá do Sul, 3 de MAIO de 2022

Eu, **Luiz Fernando Fodi**, responsável principal pelo projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) denominado preliminarmente de "**Análise comparativa dos substratos em brocas inteiriças na qualidade da furação do alumínio 7075**", do Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU, venho pelo presente, solicitar autorização da [REDACTED] para a realização da coleta de dados em sua empresa no período de MAIO/2022 a JULHO/2022, com o objetivo de "**Fazer uma análise comparativa dos substratos das brocas de metal duro e aço rápido, no desvio da qualidade das furações e rugosidade**". Esta pesquisa está sendo orientada pelo **Prof. Dr. Gil Magno Chagas**, pesquisador do IFSC.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, solicito autorização para a realizar a coleta de dados que consistirá de **imagens através de fotos**. Saliento que as coletas serão tratadas de forma anônima e confidencial, isto é, em nenhum momento será divulgado o nome de um funcionário e da empresa, em qualquer fase do estudo. As imagens serão divulgadas somente nesta pesquisa e os resultados divulgados em eventos e/ou revistas científicas, tomando o cuidado de não identificar pessoa, marca ou produto da empresa.

Contando com a autorização desta instituição, agradecemos e coloco-me à disposição para qualquer esclarecimento.



Luiz Fernando Fodi - Pesquisador Principal
Luizfodi3395@gmail.com
(47) 99259-3395

Autorizo:

[REDACTED]

ANEXO A – Resultados obtidos

Parte superior do furo	Cp 1	Desvio x	Desvio y	diametro	circularidade		Parte inferior do furo	Cp 1	Desvio x	Desvio y	diametro	circularidade
furo 1	Cp 1	0,046	0,023	10,045	0,018	VC-60 f0,1mm/rot	furo 1	Cp 1	0,019	0,027	10,024	0,004
furo 2	Cp 1	0,076	0,023	10,084	0,042		furo 2	Cp 1	0,035	0,002	10,026	0,004
furo 3	Cp 1	0,046	0,008	10,101	0,054		furo 3	Cp 1	0,022	0,009	10,039	0,008
furo 4	Cp 1	0,049	0,034	10,034	0,008	VC-60 f0,2mm/rot	furo 4	Cp 1	0,051	0,022	10,039	0,002
furo 5	Cp 1	0,021	0,029	10,064	0,004		furo 5	Cp 1	0,019	0,029	10,053	0
furo 6	Cp 1	0,009	0,04	10,052	0,005		furo 6	Cp 1	0,001	0,054	10,071	0,002
furo 7	Cp 1	0,005	0	10,067	0,016	VC-60 f0,3mm/rot	furo 7	Cp 1	0,007	0,014	10,042	0,001
furo 8	Cp 1	0,002	0,003	10,036	0,004		furo 8	Cp 1	0,009	0,004	10,026	0,002
furo 9	Cp 1	0,005	0,009	10,054	0,005		furo 9	Cp 1	0,026	0,025	10,031	0,005

Parte superior do furo	Cp 2	Desvio x	Desvio y	diametro	circularidade		Parte inferior do furo	Cp 2	Desvio x	Desvio y	diametro	circularidade
furo 1	Cp 2	0,043	0,04	10,123	0,033	VC-100 f0,1mm/rot	furo 1	Cp 2	0,004	0,007	10,04	0,001
furo 2	Cp 2	0,023	0,068	10,142	0,003		furo 2	Cp 2	0,001	0,008	10,043	0,001
furo 3	Cp 2	0,037	0,012	10,137	0,065		furo 3	Cp 2	0,011	0,023	10,042	0,006
furo 4	Cp 2	0,005	0,02	10,051	0,003	VC-100 f0,2mm/rot	furo 4	Cp 2	0,001	0,028	10,035	0,001
furo 5	Cp 2	0,008	0,009	10,062	0,005		furo 5	Cp 2	0,022	0,006	10,074	0,005
furo 6	Cp 2	0,016	0,042	10,055	0,006		furo 6	Cp 2	0,019	0,046	10,056	0,002
furo 7	Cp 2	0,014	0	10,04	0,002	VC-100 f0,3mm/rot	furo 7	Cp 2	0,021	0,001	10,036	0,003
furo 8	Cp 2	0,013	0,012	10,026	0		furo 8	Cp 2	0,018	0,017	10,025	0,003
furo 9	Cp 2	0,008	0,023	10,06	0		furo 9	Cp 2	0,002	0,033	10,025	0,006

Parte superior do furo	Cp 3	Desvio x	Desvio y	diametro	circularidade		Parte inferior do furo	Cp 3	Desvio x	Desvio y	diametro	circularidade
furo 1	Cp 3	0,001	0,022	10,08	0,001	VC-100 f0,1mm/rot	furo 1	Cp 3	0,001	0,025	10,069	0,004
furo 2	Cp 3	0,005	0,025	10,105	0		furo 2	Cp 3	0,012	0,018	10,087	0,001
furo 3	Cp 3	0,01	0,022	10,146	0,001		furo 3	Cp 3	0,015	0,026	10,102	0,002
furo 4	Cp 3	0,002	0,04	10,092	0,003	VC-100 f0,2mm/rot	furo 4	Cp 3	0,003	0,022	10,07	0,001
furo 5	Cp 3	0,013	0,038	10,106	0,004		furo 5	Cp 3	0,007	0,036	10,137	0,01
furo 6	Cp 3	0,006	0,043	10,134	0		furo 6	Cp 3	0,013	0,027	10,11	0,002
furo 7	Cp 3	0,005	0,04	10,099	0	VC-100 f0,3mm/rot	furo 7	Cp 3	0,002	0,045	10,101	0,004
furo 8	Cp 3	0,006	0,044	10,104	0		furo 8	Cp 3	0,011	0,057	10,092	0,008
furo 9	Cp 3	0,001	0,039	10,091	0,005		furo 9	Cp 3	0,004	0,051	10,071	0,009

Parte superior do furo	Cp 4	Desvio x	Desvio y	diametro	circularidade		Parte inferior do furo	Cp 4	Desvio x	Desvio y	diametro	circularidade
furo 1	Cp 4	0,002	0,053	10,08	0,005	VC-180 f0,1mm/rot	furo 1	Cp 4	0,018	0,05	10,066	0,006
furo 2	Cp 4	0,015	0,002	10,073	0,006		furo 2	Cp 4	0,025	0,02	10,066	0
furo 3	Cp 4	0,014	0	10,074	0,001		furo 3	Cp 4	0,012	0,023	10,053	0,01
furo 4	Cp 4	0,002	0,001	10,072	0,002	VC-180 f0,2mm/rot	furo 4	Cp 4	0,013	0,004	10,048	0,003
furo 5	Cp 4	0,007	0,015	10,076	0,003		furo 5	Cp 4	0,013	0,02	10,044	0,002
furo 6	Cp 4	0,003	0,016	10,074	0,011		furo 6	Cp 4	0,009	0,02	10,048	0,002
furo 7	Cp 4	0,007	0,018	10,079	0	VC-180 f0,3mm/rot	furo 7	Cp 4	0,002	0,032	10,041	0,004
furo 8	Cp 4	0,01	0,016	10,075	0,004		furo 8	Cp 4	0,009	0,033	10,044	0,002
furo 9	Cp 4	0,001	0,032	10,086	0,005		furo 9	Cp 4	0,024	0,033	10,106	0,007