

## AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BROCAS DE METAL DURO NO PROCESSO DE FURAÇÃO EM AÇO AISI H13 TEMPERADO

**João Antônio dos Santos Bez**<sup>1</sup>

**Luiz Carlos de Cesaro Cavaler**<sup>2</sup>

**Alexandre Milanez**<sup>3</sup>

**Resumo:** O aço AISI H13 é amplamente utilizado na indústria, sobretudo na fabricação de matrizes para injeção de alumínio, possuindo ótimas características para trabalho em altas temperaturas e quando endurecido torna a usinagem mais complexa. O mercado global das ferramentas de corte está em constante crescimento, porém, é evidenciado o uso de ferramentas de forma incorreta e inapropriadas para os processos de usinagem. Diante disso, o objetivo deste estudo foi analisar e evidenciar o desempenho de brocas de metal duro com duas geometrias diferentes no processo de furação a partir da medição do desgaste de flanco, ensaios de rugosidade e erro de circularidade. Foram utilizadas diferentes velocidades de avanço para cada geometria de broca e, o critério de fim de vida das brocas adotado para este processo foi o desgaste de flanco com valor de 0,2 mm e em casos de falhas no gume de corte por meio de lascas também culminaria no encerramento do processo. A partir dos testes, foi constatado que o aumento da velocidade de avanço contribui na redução de vida da ferramenta e que a geometria da ferramenta influencia diretamente na produtividade do processo. Os resultados desse estudo contribuem para o fortalecimento de práticas que visam a produtividade e o investimento nas ferramentas de corte.

**Palavras-Chave:** Furação. Geometria de brocas. Velocidade de avanço. Rugosidade. Erro de circularidade.

### 1 INTRODUÇÃO

O processo de furação é uma das operações de usinagem mais comuns e mais utilizadas na indústria manufatureira (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2014). Na furação, deve-se levar em conta vários parâmetros geométricos, entre eles: diâmetro do furo, profundidade, tolerância de formas e medidas. A grande maioria das peças da indústria tem pelo menos um furo, e somente, uma pequena parte já vem com o

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica. Ano 2022-2. E-mail: joaoantoniobez@gmail.com

<sup>2</sup> Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: luiz.cavaler@satc.edu.br

<sup>3</sup> Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: alexandre.milanez@satc.edu.br

furo pronto do processo de obtenção da peça bruta seja por fundição ou forjamento. Normalmente trata-se de um furo de grandes proporções.

As ferramentas utilizadas nos processos de torneamento e fresamento são na grande maioria fabricadas pela sinterização do carboneto de tungstênio, comumente conhecido por metal duro. Já na furação, o metal duro é bastante presente nas brocas inteiriças, dividindo este espaço com as brocas fabricadas em aço rápido, e também nas brocas intercambiáveis, as quais são utilizados insertos de metal duro.

Atualmente, as tendências do processo de furação assim como nas outras operações de usinagem, são aumentar a produtividade e a automação do processo. O mercado global de ferramentas de corte para metais testemunha o crescimento estável e deve cruzar os US\$ 38 bilhões em 2024 (MERCADO..., 2020). Porém, ainda é evidenciado o uso de ferramentas não recomendadas para determinados processos e materiais, seguindo na contramão do progresso.

Os aços ao cromo da série H, principalmente o H13, foram desenvolvidos para trabalho como matrizes e apresentam propriedades como alta temperabilidade e baixa distorção na têmpera (FRACARO, 2017). Na macrorregião de Criciúma, o aço AISI H13 é bastante utilizado em diversas indústrias para a fabricação de matrizes, sobretudo as matrizes para injeção de alumínio.

Portanto, será apresentado um estudo com testes de furação no aço AISI H13 temperado com uma dureza média de 50 HRc, utilizando brocas de metal duro de duas geometrias diferentes, alternando parâmetros de corte, a fim de avaliar e verificar o melhor tipo de ferramenta para esse processo, por meio da medição de desgaste de flanco, ensaios de rugosidade e circularidade.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Para a abertura de furos, empregam-se ferramentas denominadas brocas, que pode ser de diversos tipos, tais como: brocas chatas, brocas helicoidais, brocas canhão (para furos profundos), brocas ocas para trepanação, etc. A furação com brocas é uma operação de desbaste (STEMMER, 1995).

## 2.1 PROCESSO DE FURAÇÃO

A furação é um processo mecânico de usinagem destinado a obtenção de um furo geralmente cilíndrico em uma peça, com o auxílio de uma ferramenta geralmente multicortante. Para tanto, a ferramenta ou a peça giram e simultaneamente a ferramenta ou a peça se deslocam segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina (FERRARESI, 2018).

A precisão e o acabamento da superfície na furação dependem do projeto solicitado. Caso necessário alta precisão e bom acabamento que uma broca apenas não consiga realizar, a furação deve ser seguida por alguma outra operação, como alargamento, mandrilamento ou retificação (YOUSSEF; EL-HOFY, 2008). O desempenho da furação depende dos materiais envolvidos, da geometria da broca, da velocidade de corte e do avanço (STEPHENSON; AGAPIOU, 1997).

### 2.1.1 Parâmetros de Corte

Pelas condições mais difíceis de usinagem, as velocidades de corte recomendadas para brocas são aproximadamente a metade das recomendadas para operações de torneamento de desbaste (STEMMER, 1995).

O processo de furação demanda grande esforço de corte, em parte devido à geometria da ponta das brocas e, em parte, devido às baixas velocidades de corte empregadas nos processos de furação com brocas helicoidais (REBEYKA, 2016).

Para a furação de materiais com dureza entre 45 e 55 HRc, recomenda-se uma velocidade de corte de 18 m/min e o avanço de 0,03 mm/rot para brocas de diâmetros entre 8,0mm e 10,0mm, conforme Tab. 1 (BFT BURZONI, 2022).

Tabela 1: Parâmetros de corte para furação para materiais de alta dureza.

Mat.	HB <sup>(a)</sup> N/mm <sup>2(b)</sup> HrC <sup>(c)</sup>	Kc <sup>(d)</sup>	Vc (m/min)	F (mm/giro)				
				Ø 3,0 - Ø 6,0	Ø 6,0 - Ø 8,0	Ø 8,0 - Ø 10,0	Ø 10,0 - Ø 12,0	Ø 12,0 - Ø 14,0
P9	350 <sup>(a)</sup> / 1200 <sup>(b)</sup>	1800	20	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
P11	325 <sup>(a)</sup> / 1100 <sup>(b)</sup>	2500	22	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05
H38	45-55 <sup>(c)</sup>	4600	18	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
H39	>55 <sup>(c)</sup>	4700	12	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04

Fonte: Adaptado de BFT Burzoni (2022).

### 2.1.2 Fluídos de Corte

A função do fluido de corte é introduzir uma melhoria no processo de usinagem dos metais. A melhoria pode ser de caráter funcional, melhorando o desempenho do processo, ou de caráter econômico, ou seja, reduzindo o custo da usinagem (FERRARESI, 2018).

A energia gerada devido ao atrito ferramenta-aço e cavaco-ferramenta durante o processo de usinagem, desenvolve uma grande quantidade de calor. Essa geração de calor pode ser reduzida com a diminuição do coeficiente de atrito utilizando fluídos de corte com capacidade lubrificante (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2014).

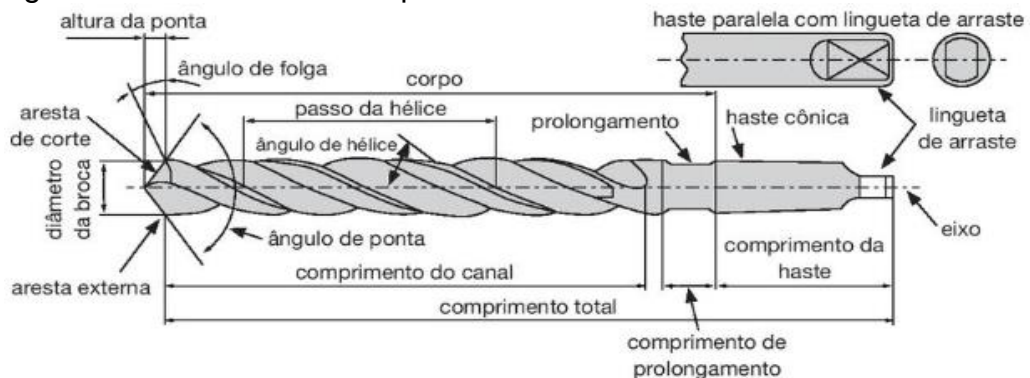
Para furação em aços muito duros, recomenda-se o uso de óleo solúvel, óleo sulfurado e terebintina (BLACK; KOHSER, 2008).

### 2.2 BROCAS HELICOIDAIS

As brocas helicoidais são as mais comuns na execução de furos (STEMMER, 1995; BLACK; KOHSER, 2008). Os canais helicoidais são destinados a criar espaço para a remoção dos cavacos (STEMMER, 1995). As brocas são ferramentas delicadas, os canais devem ser cuidadosamente projetados para permitir o fluxo de cavaco mantendo a resistência adequada (TRENT; WRIGHT, 2000).

Estas tem três partes básicas: o corpo, a ponta e a haste (BLACK; KOHSER, 2008). A Fig. 1, contempla a nomenclatura das partes que compõe as brocas helicoidais.

Figura 1: Nomenclatura das partes das brocas helicoidais.



Fonte: Rebeyka (2016).

### **2.2.1 Geometria das brocas helicoidais**

As brocas helicoidais são normalizadas de acordo com suas características construtivas e geométricas (FRACARO, 2017). Em função das características construtivas e da aplicação na usinagem dos materiais, apresentam três tipos de hélices normalizadas:

Tipo W: Apresenta passo curto e é recomendado para materiais que formam cavacos longos, como ligas de alumínio, magnésio, nylon, etc. Ângulo de hélice de  $35^{\circ}$  até  $45^{\circ}$ ;

Tipo N: Apresenta passo normal e é recomendado para materiais mais comuns, como aços, ferros fundidos maleáveis e similares. Ângulo de hélice de  $18^{\circ}$  até  $30^{\circ}$ ;

Tipo H: Apresenta passo longo e é recomendado para materiais que formam cavacos curtos, materiais duros e frágeis, como ligas de magnésio, borracha dura, etc. Ângulo de hélice de  $10^{\circ}$  até  $15^{\circ}$ . (STEMMER, 1995; FRACARO, 2017).

### **2.2.2 Material das brocas helicoidais**

O aço rápido foi desenvolvido na virada do século XIX contendo carbono, tungstênio, molibdênio, cromo, e vanádio na sua composição. Na época foi uma descoberta revolucionária, com esta ferramenta foi possível aumentar a velocidade de corte em cerca de 10 vezes, assim recebeu o nome de “rápido”. Hoje, comparando com as ferramentas atuais, o aço rápido já não tem valores de corte tão alto como antigamente (MACHADO *et al*, 2015).

Denominado “metal duro”, o carboneto de tungstênio, fabricado pelo processo de metalurgia do pó, possui uma excelente combinação de resistência ao desgaste, resistência mecânica e tenacidade (MACHADO *et al*, 2015). Enquanto as ferramentas de aço rápido permitiam velocidades de corte de até 35 m/min, as ferramentas de metal duro permitiam a usinagem em até 300 m/min (REBEYKA, 2016).

### **2.2.3 Revestimentos das ferramentas de corte**

Ferramentas de corte com revestimento custam cerca de 15 a 20% mais em relação a ferramentas sem revestimento, sendo um custo justificado visto que em

um âmbito geral aumenta a sua performance quando empregado corretamente (BLACK; KOHSER, 2008).

Entre todo o metal duro utilizado na indústria, os revestidos representam, atualmente, mais de 95%, com tendência a crescimento contínuo (MACHADO et al, 2015).

Segundo a empresa de revestimentos (OERLIKON BALZERS, 2022), para o processo de furação em aços de 45 à 56 HRC de dureza são recomendados revestimentos à base de AlTiN (Nitreto de Titânio e Alumínio). São três revestimentos disponíveis em seu portfólio com esta base, BALINIT® DURANA, BALINIT® PERTURA e BALINIT® LATUMA.

#### 2.2.4 Desgaste das ferramentas de corte

Denomina-se vida de uma ferramenta o tempo que a mesma trabalha efetivamente, até perder a sua capacidade de corte, dentro de um critério previamente estabelecido. A perda de capacidade de corte é avaliada geralmente através de um determinado grau de desgaste (FERRARESI, 2018).

A ABNT NBR ISO 3685:2017 estabelece os critérios para determinação do fim da vida útil de ferramentas de aço rápido, metal duro e cerâmica nas operações de desbaste, conforme Tab. 2.

Tabela 2: Critérios de fim de vida das ferramentas de corte.

<b>Critérios de fim de vida das ferramentas de corte</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Desgaste de Flanco (VB)	0,3	[mm]
Desgaste de flanco máximo (VB <sub>máx</sub> )	0,6	[mm]
Profundidade da cratera (KT)	0,06 + 0,3f	[mm]

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017).

#### 2.3 AÇOS PARA TRABALHO A QUENTE

Os aços para trabalho a quente são muito empregados na conformação a alta temperatura dos materiais. São destinados a trabalhos em contato com material que pode ser aquecido até 1.100°C. Estes aços recebem uma nomenclatura especial, a chamada série H (FRACARO, 2017).

Dentre os três subgrupos da série H, os mais usuais e comerciais são os ligados ao cromo, principalmente H11, H12 e H13. As aplicações típicas dos aços H10 à H13 são em moldes para fundição, matrizes de forjamento, ferramentas para extrusão a quente, tesouras e todo o tipo de matrizes para trabalho a quente envolvendo choque (SILVA; MEI, 1988).

Segundo (GABARO, 2008) esta família está sujeita à aplicações de solicitações térmicas e mecânicas em um complicado arranjo de forças. O aço AISI H13 possui alguns elementos em sua composição, entre eles, os da Tab. 3.

Tabela 3: Composição química do aço AISI H13.

Elemento Químico	Carbono (C)	Silício (Si)	Manganês (Mn)	Fósforo (P)	Enxofre (S)	Cromo (Cr)	Molibdênio (Mo)	Vanádio (V)
Quantidade (%)	0,370	1,070	0,410	0,019	0,003	5,290	1,260	0,870

Fonte: Chiaverini (2002) apud Nicola (2008).

Atualmente, a usinagem com gumes de geometria definida desses materiais tem sido possível graças ao desenvolvimento de máquinas e de ferramentas capazes de suportar as altas forças de corte e as duras condições tribológicas impostas pela formação de cavacos nesses materiais. A escolha das máquinas, das ferramentas e das condições de corte para esses materiais, são essenciais para o sucesso do processo (MACHADO *et al*, 2015).

## 2.4 RUGOSIDADE

A rugosidade de uma superfície é composta de irregularidades finas ou de erros microgeométricos resultantes de marcas de avanço, gume postigo de corte, desgaste da ferramenta, entre outros, todos oriundos do processo de corte (MACHADO *et al*, 2015).

A rugosidade  $R_a$  é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento, dos pontos de perfil de rugosidade em relação a linha média dentro do percurso de medição, enquanto o  $R_z$  é a média aritmética dos cinco valores absolutos dos pontos de maior afastamento, acima e abaixo da linha média. Já o  $R_t$ , corresponde à distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo no comprimento de avaliação (ALMEIDA, 2008).

A importância do acabamento da superfície aumenta, quando cresce a precisão de ajuste entre as peças (MARTINS, 2008).

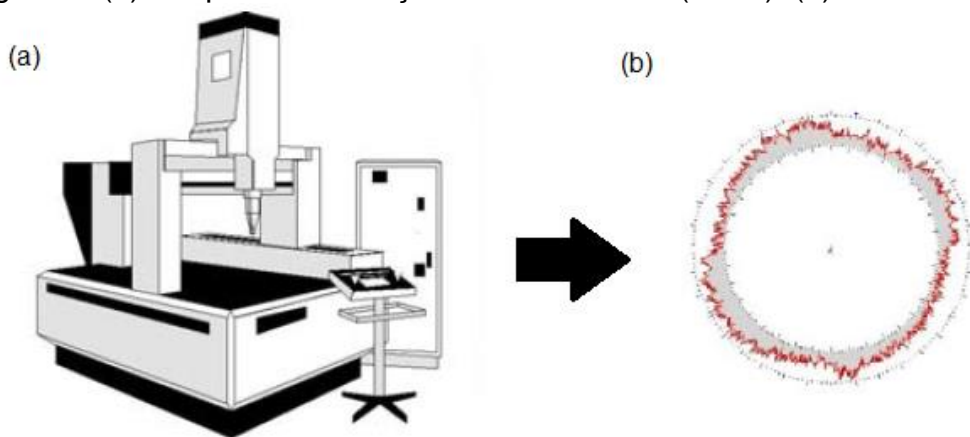
## 2.5 ERRO DE CIRCULARIDADE

Dentre as tolerâncias geométricas, o erro de circularidade é a condição pela qual qualquer círculo deve estar dentro de uma faixa definida por dois círculos concêntricos, distantes no valor da tolerância especificada (CATELAN, 2015).

Entre os equipamentos táteis utilizados para a medição de circularidade, a máquina de medir forma (MMF) e a máquina de medir por coordenadas (MMC) são os mais usuais na indústria (SCHMIDT, 2005).

Na medição por coordenadas, Fig. 2, a geometria da peça é definida através das coordenadas de pontos espaciais, adquiridos em áreas importantes para a função da peça e relacionados a um determinado sistema cartesiano de referência. Os pontos espaciais são adquiridos através de um sistema de apalpação eletromecânico ou eletromagnético e associados aos elementos geométricos escolhidos pelos operadores (SCHMIDT, 2005).

Figura 2: (a) Máquina de medição de coordenada (MMC). (b) Perfil de circularidade.



Fonte: Adaptado de Schmidt (2005).



### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo são apresentados os equipamentos e materiais utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, assim como os procedimentos e métodos empregados para a execução do projeto e aquisição dos resultados.

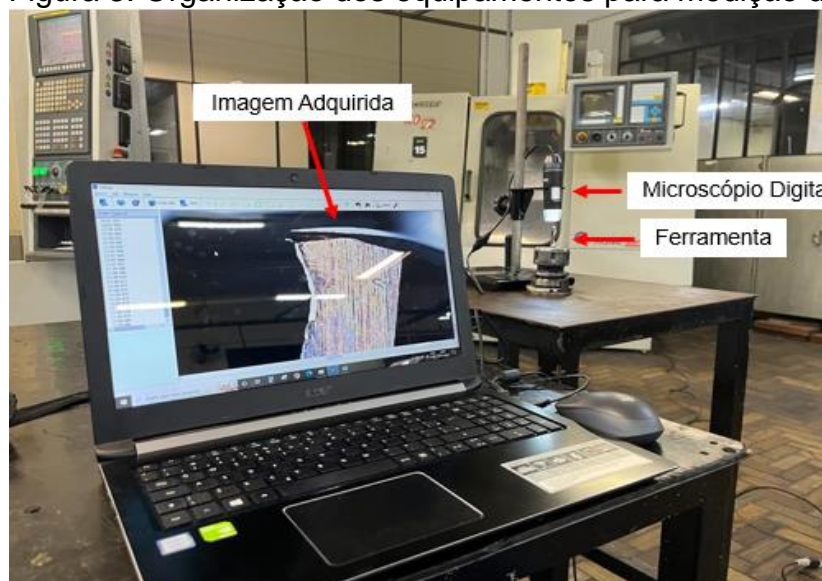
#### 3.1 EQUIPAMENTOS

Nesta seção são descritos os equipamentos utilizados para o processo de usinagem e para a aquisição dos resultados.

Para os ensaios de furação foi utilizado um centro de usinagem da marca Romi modelo D600, situado no laboratório de usinagem da UNISATC, bem como um perfilômetro da marca Mahr modelo MarSurf GD25 para os ensaios de rugosidade. Já para os ensaios de circularidade, foi empregado o uso de uma máquina de medição por coordenadas da marca Mitutoyo modelo BH715.

A fim de confrontar o desempenho entre as seis ferramentas, as brocas foram submetidas à uma análise visual e dimensional no gume de corte para a medição do desgaste de flanco. Foi utilizado um microscópio digital USB da marca Digital Microscope e o *software* HiView, conectados a um notebook, para capturar as imagens das ferramentas e realizar a medição do desgaste. A Fig. 3 mostra a organização dos equipamentos.

Figura 3: Organização dos equipamentos para medição do desgaste.



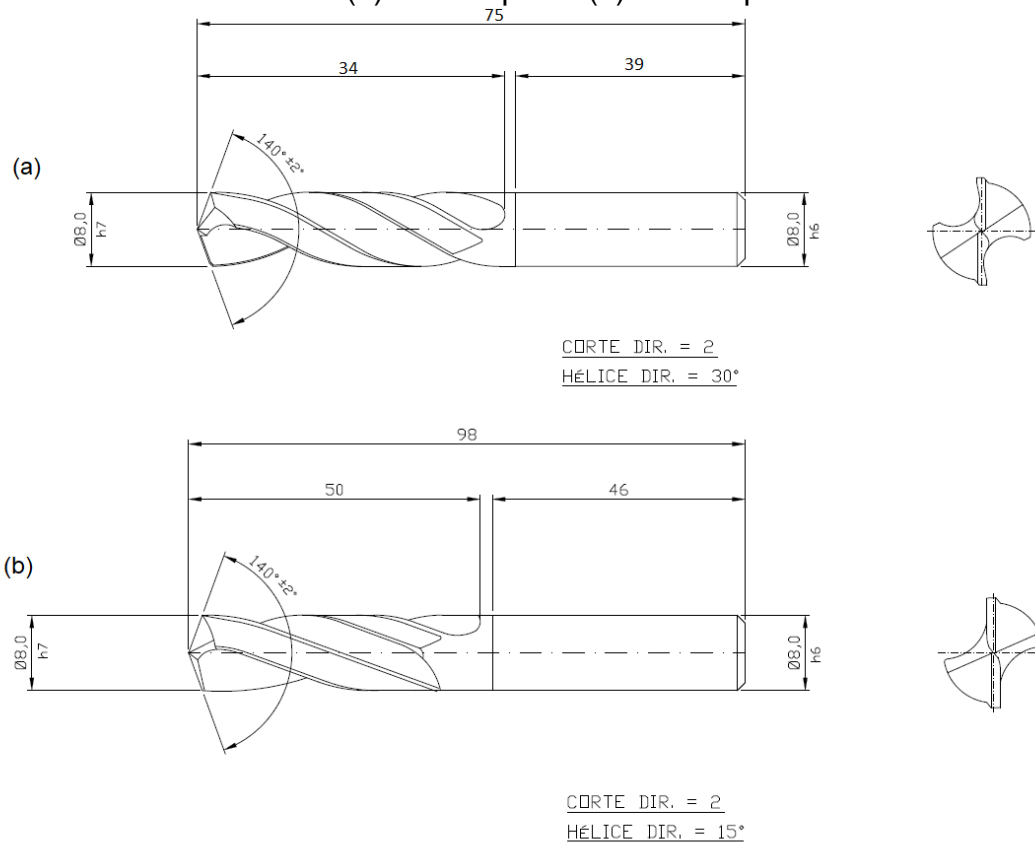
Fonte: Autor (2022).

### 3.2 MATERIAIS

Nesta seção são apresentados o corpo de prova e as ferramentas utilizadas no processo de furação.

Conforme apresentado, foram utilizados seis de brocas helicoidais de metal duro com diâmetro de 8,0 mm, três peças da geometria N com 30° de ângulo de hélice, e três peças da geometria H com 15° de ângulo de hélice, conforme Fig. 4. Para a fixação das brocas na máquina, foi utilizado um mandril porta pinça MAS 403 BT 40 OZ25 da marca Ubra e uma pinça com diâmetro de 8,0 mm.

Figura 4: Brocas utilizadas. (a) Broca tipo N. (b) Broca tipo H.



Fonte: Autor (2022).

Todas as ferramentas foram revestidas com BALINIT® DURANA, possuindo além da camada base de AlTiN (Nitreto de Titânio e Alumínio) uma camada de TiSiXN (Nitreto de Titânio e Silício). Conforme a (OERLIKON BALZERS, 2022),

este revestimento possui alta resistência ao desgaste abrasivo e fornece proteção aos gumes de corte, podendo trabalhar em altas temperaturas.

Para o processo, foram adquiridos três placas do aço AISI H13, sendo dois blocos com as dimensões brutas de 300 x 100 x 24,2 mm e um bloco com 300 x 100 x 20,8mm de dimensão. Segundo a fornecedora do material (AÇOS FAVORIT, 2022), a composição química segue a Tab. 4.

Tabela 4: Composição química do aço AISI H13 utilizado.

Elemento Químico	Carbono (C)	Silício (Si)	Manganês (Mn)	Fósforo (P)	Enxofre (S)	Cromo (Cr)	Molibdênio (Mo)	Vanádio (V)	Ferro (Fe)
Quantidade (%)	0,370	1,070	0,410	0,019	0,003	5,290	1,260	0,870	90,708

Fonte: Adaptado de Aços Favorit (2022).

As placas foram submetidas à temperada e suas respectivas durezas foram elevadas. As durezas foram medidas com um durômetro Mitutoyo modelo DT-20, gerando os valores conforme Tab. 5.

Tabela 5: Dureza média dos copos de prova.

Placa	Nº de medições por placa	Dureza Média Calculada (HRc)
1	3	48
2	3	51
3	3	52

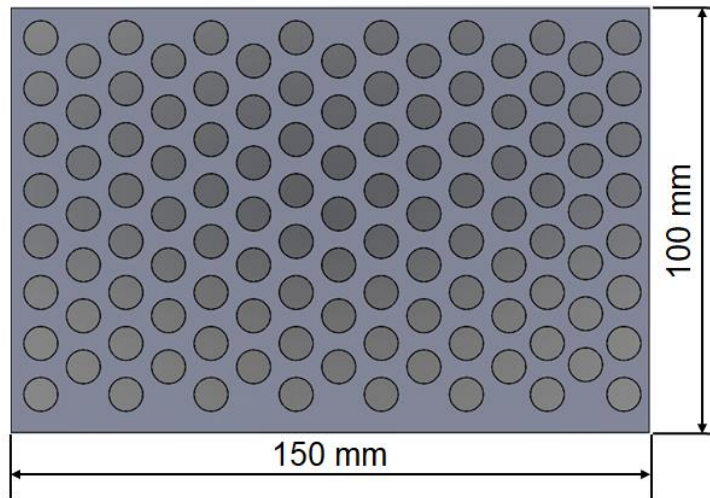
Fonte: Autor (2022).

### 3.3 PROCEDIMENTOS

O objetivo do experimento foi avaliar o desempenho de duas geometrias de brocas na furação do aço AISI H13 temperado em três placas, utilizando os seguintes programas e métodos.

O desenho dos corpos de prova para execução dos furos foi feito com auxílio do *software* Solidworks® e a programação de usinagem foi realizada através do *software* Edgecam™. A Fig. 5 mostra o desenho da placa com 150 mm de comprimento para realização do processo em duas etapas.

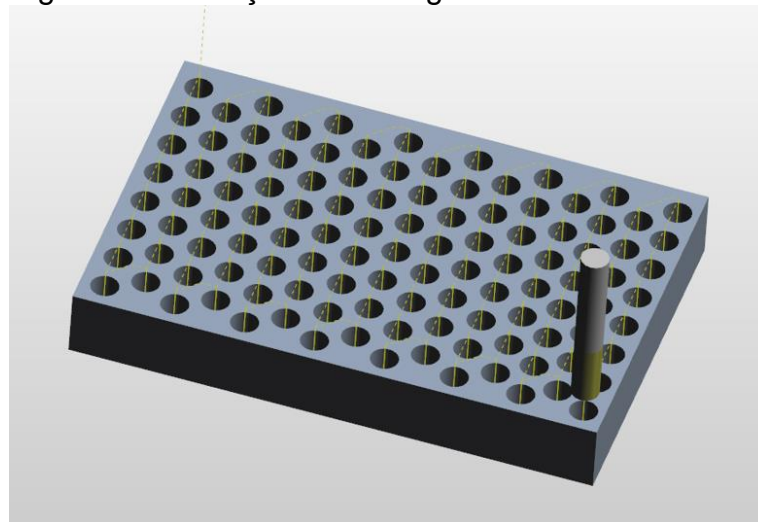
Figura 5: Desenho do corpo de prova.



Fonte: Autor (2022).

O espaçamento projetado entre paredes foi de 4 mm na vertical e a distância mínima de 3,41 mm na horizontal, formando filas intercaladas com 8 e 7 furos respectivamente, sendo possível a usinagem de 113 furos em cada etapa. A Fig. 6 contempla a simulação realizada no *software* Edgecam™, a qual o processo de furação é produzido alinhadamente na vertical.

Figura 6: Simulação da usinagem dos furos.



Fonte: Autor (2022).

Seguindo as recomendações de catálogo da BFT Burzoni para furação em materiais endurecidos com a broca de geometria H, os parâmetros de usinagem são:  $v_c = 18$  m/min e  $f = 0,03$  mm/rot. Para a geometria N, foi considerado  $v_c = 12$  m/min devido a sua geometria tradicional em relação a concorrente. Portanto, os parâmetros

de usinagem utilizados nos ensaios seguem a Tab. 6, variando apenas o avanço das ferramentas.

Tabela 6: Parâmetros de corte utilizados nos ensaios.

Geometria da Broca	Ensaio	D [mm]	$v_c$ [m/min]	n [rpm]	f [mm/rot]	$v_f$ [mm/min]
Tipo N	1	8	12	477	0,02	10
	2	8	12	477	0,03	14
	3	8	12	477	0,04	19
Tipo H	4	8	18	716	0,02	14
	5	8	18	716	0,03	21
	6	8	18	716	0,04	29

Fonte: Autor (2022)

No decorrer dos ensaios, a cada 10 furos realizados, a ferramenta era removida da máquina e o gume de corte fotografado. O desgaste de flanco era medido até que o VB atingisse 0,2 mm, limite pré-estabelecido como critério de fim de vida da ferramenta em função de o material ser muito duro, onde os mecanismos de desgaste são mais severos, ou ocorresse uma falha preliminar na ferramenta, como lascas ou uma eventual quebra catastrófica.

Para minimizar o calor gerado nas brocas, causada pelo atrito entre a ferramenta e o material, foi utilizado o fluido de corte Inter M25 fornecido pela empresa Interquim. O fluido foi aplicado de forma externa em todos os ensaios.

Após os testes de usinagem, foram medidos os níveis de rugosidade em três furos de cada ensaio, no primeiro, intermediário e o último respectivamente, sendo a o comprimento de medição de 17,5 mm, comprimento de avaliação 12,5 mm e *cut-off* de 2,5 mm. A rugosidade foi avaliada nos parâmetros  $R_a$ ,  $R_z$  e  $R_t$ .

Já para nos ensaios de circularidade, foram medidos nos mesmos furos e em três pontos diferentes na parede dos mesmos, para gerar uma média de desvio de diâmetro nominal gerado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

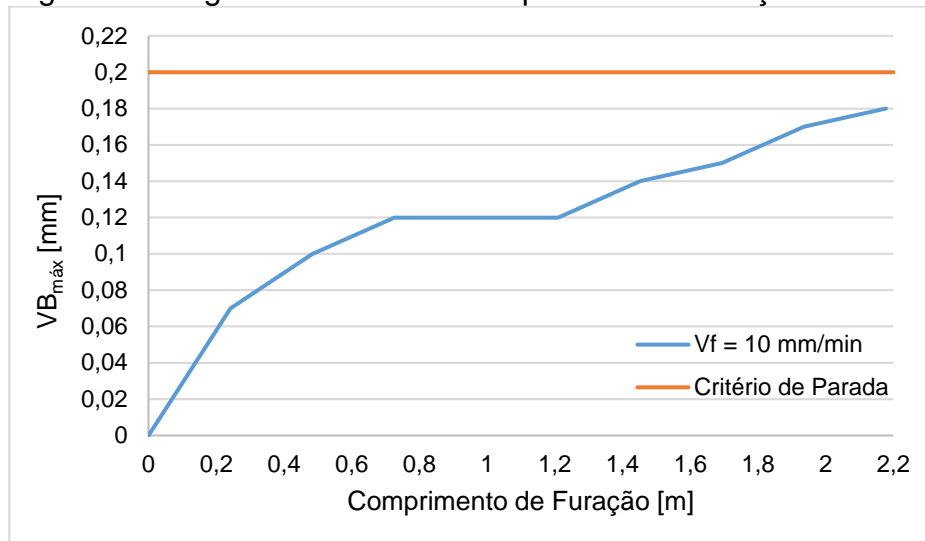
Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos no processo de furação utilizando duas brocas de metal duro com geometrias diferentes, bem como diferentes velocidades de avanço.

#### 4.1 ENSAIOS DE DESGASTE DE FLANCO

Para esta seção, a Fig. 7, Fig. 8 e Fig. 9 mostram a evolução do desgaste de flanco em função do comprimento total de furação das brocas de geometria N.

A primeira broca, com a velocidade de avanço  $v_f = 10$  mm/min não atingiu o primeiro critério de parada,  $VB = 0,2$  mm, ocorrendo uma falha preliminar na ferramenta por meio de lascas no gume de corte. Foi alcançado um desgaste de flanco de 0,18 mm e com comprimento de furação de 2,17 metros, conforme Fig. 7, e com uma duração no processo de 217 minutos e 51 segundos.

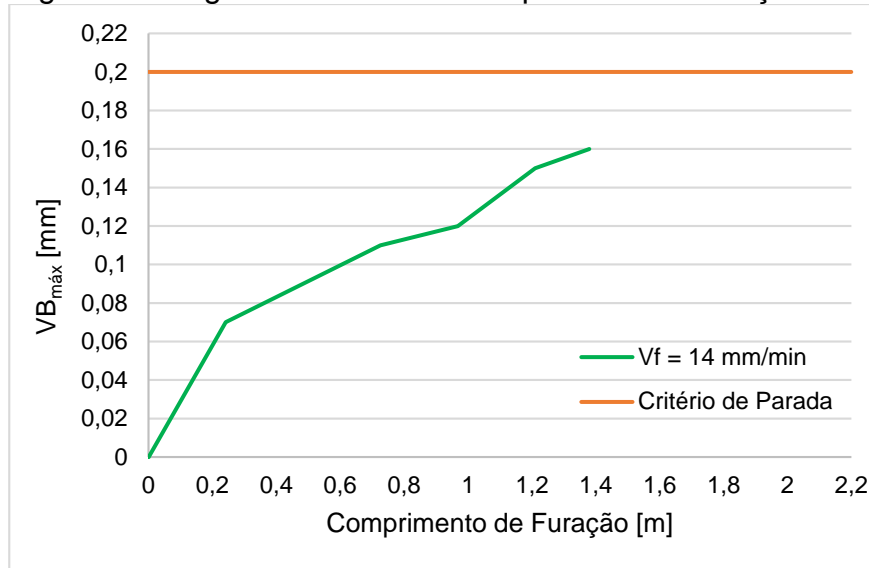
Figura 7: Desgaste de flanco x Comprimento de furação do ensaio 1.



Fonte: Autor (2022).

A segunda broca, com a velocidade de avanço  $v_f = 14$  mm/min também não atingiu o primeiro critério de parada, ocorrendo uma falha preliminar na ferramenta por meio de lascas no gume de corte. Conforme a Fig. 8, foi alcançado um desgaste de flanco de 0,16 mm e com comprimento de furação de 1,37 metros, uma redução significativa na vida da ferramenta, porém num tempo de 98 minutos e 31 segundos de processo.

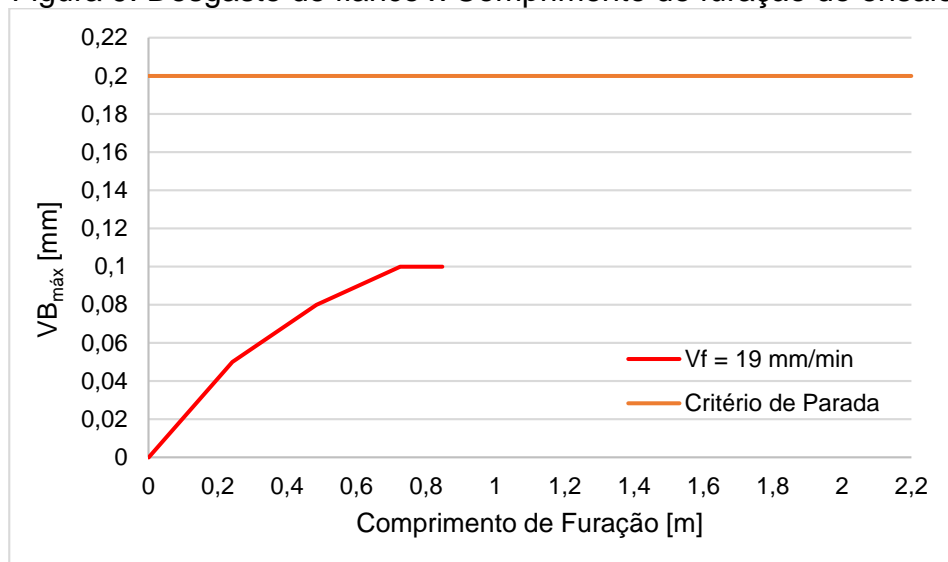
Figura 8: Desgaste de flanco x Comprimento de furação do ensaio 2.



Fonte: Autor (2022).

Já a terceira broca, com a maior velocidade de avanço do grupo de brocas com geometria N,  $v_f = 19$  mm/min, a falha preliminar na ferramenta ocorreu por meio de lascas e com apenas 0,84 metros de comprimento de furação. De acordo com a Fig. 9, o desgaste de flanco chegou a 0,10 mm e o processo teve a duração de 44 minutos e 34 segundos.

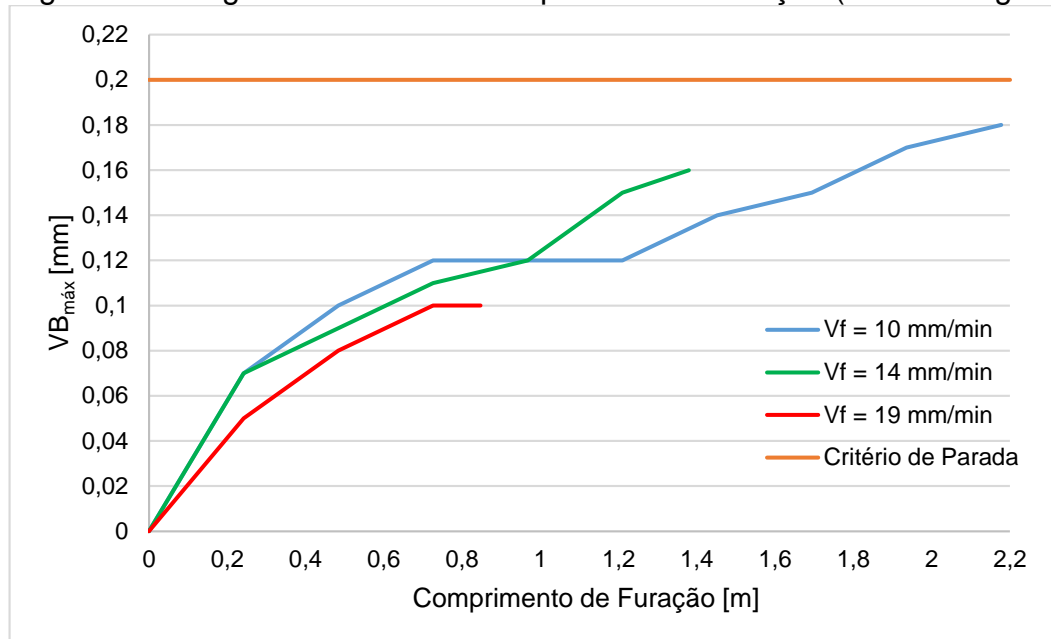
Figura 9: Desgaste de flanco x Comprimento de furação do ensaio 3.



Fonte: Autor (2022).

A Fig. 10 mostra o desgaste VB do flanco das três brocas, com suas respectivas velocidades de avanço, 10, 14 e 19 mm/min.

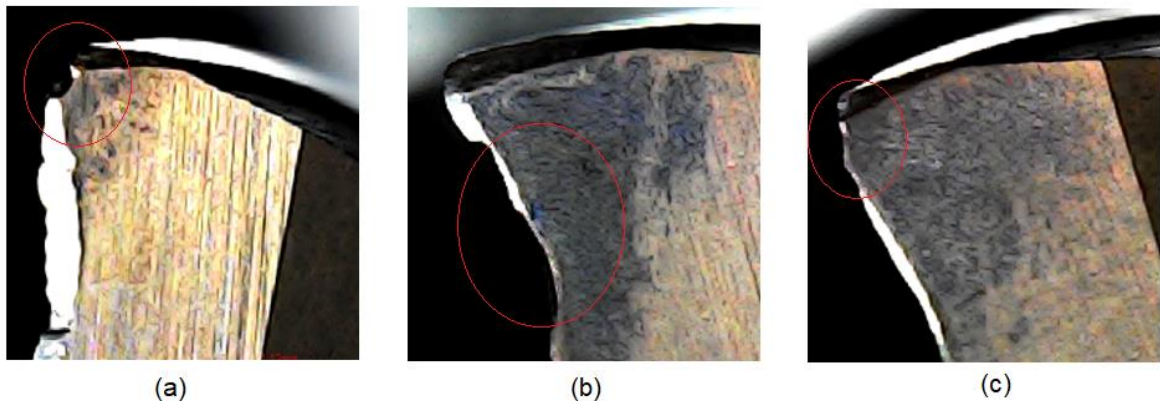
Figura 10: Desgaste de flanco x Comprimento de furação (brocas de geometria N).



Fonte: Autor (2022).

Durante os ensaios, todas as brocas da geometria N desde os primeiros furos produziram cavacos longos e contínuos, mostrando uma certa dificuldade em quebrar o cavaco produzido. Analisando a Fig. 10, nenhuma das três brocas alcançou o critério de parada de  $VB = 0,2\text{mm}$ , ocorrendo falhas preliminares nas três ferramentas em decorrência de lascas no gume de corte. A Fig. 11, mostra o gume das brocas no encerramento do processo em cada ensaio das brocas de geometria N.

Figura 11: Lascas no gume de corte. (a) Ensaio 1. (b) Ensaio 2. (c) Ensaio 3.

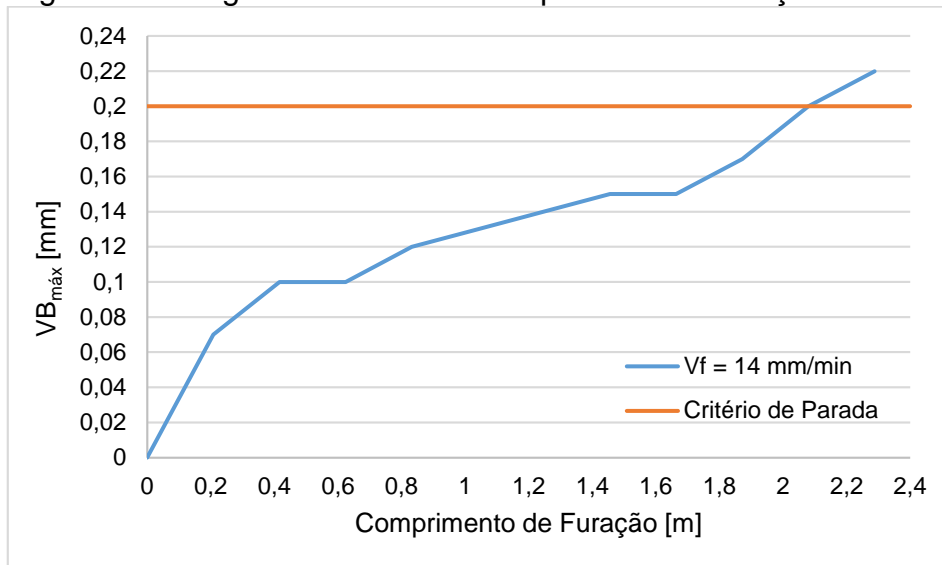


Fonte: Autor (2022).



As figuras apresentadas em sequência, Fig. 12, Fig. 13 e Fig. 14, mostram a evolução do desgaste de flanco em função comprimento de furação das brocas de geometria H. Os ensaios iniciaram com a velocidade de avanço  $v_f = 14$  mm/min, a quarta broca atingiu o critério de parada chegando a um desgaste de flanco  $VB = 0,22$  mm com comprimento de furação de 2,28 metros, conforme a Fig. 12. A duração do processo foi de 163 minutos e 25 segundos.

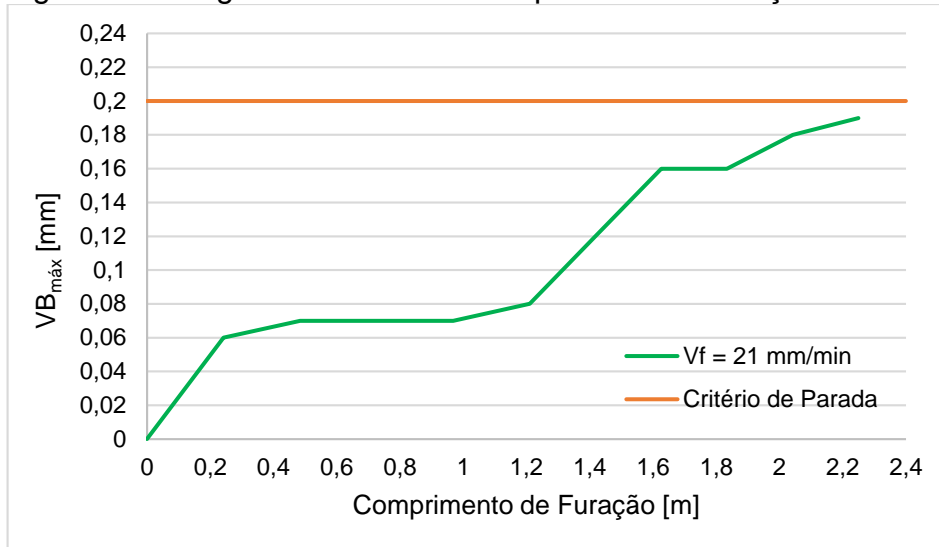
Figura 12: Desgaste de flanco x Comprimento de furação do ensaio 4.



Fonte: Autor (2022).

A quinta broca, com a velocidade de avanço  $v_f = 21$  mm/min esteve perto de atingir o primeiro critério de parada, porém fez-se necessário parar o processo com comprimento de furação de 2,25 metros e desgaste de flanco  $VB = 0,19$  mm devido a lascas no gume de corte, de acordo com a Fig. 13, e com o processo de furação de 107 minutos e 8 segundos.

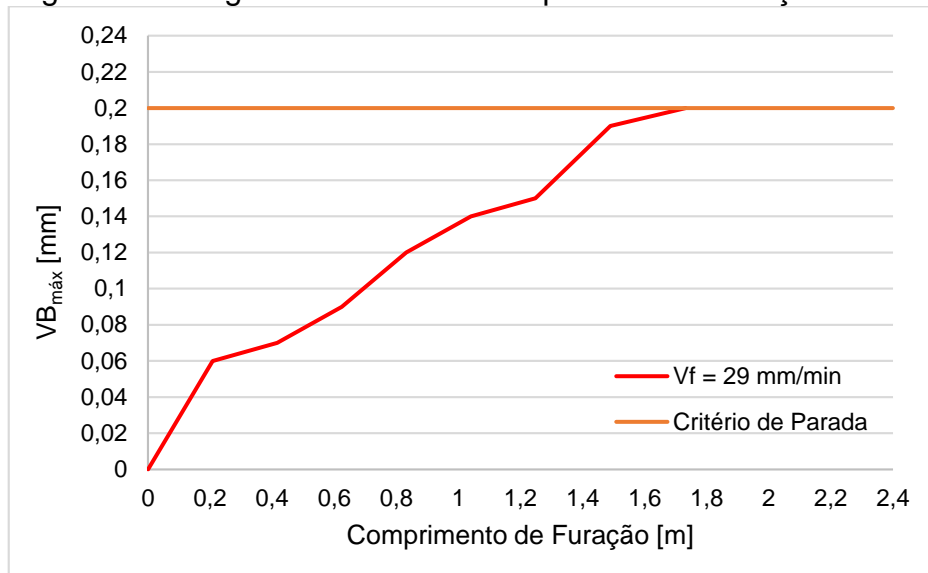
Figura 13: Desgaste de flanco x Comprimento de furação do ensaio 5.



Fonte: Autor (2022).

A sexta broca, com a maior velocidade de avanço do grupo de brocas com geometria H e de geometria N,  $v_f = 29$  mm/min, alcançou o critério de parada com 1,73 metros de comprimento de furação, apresentando 0,2 mm de desgaste de flanco de acordo com a Fig. 14, bem como lascas no gume de corte. A duração do processo foi de 59 minutos e 43 segundos.

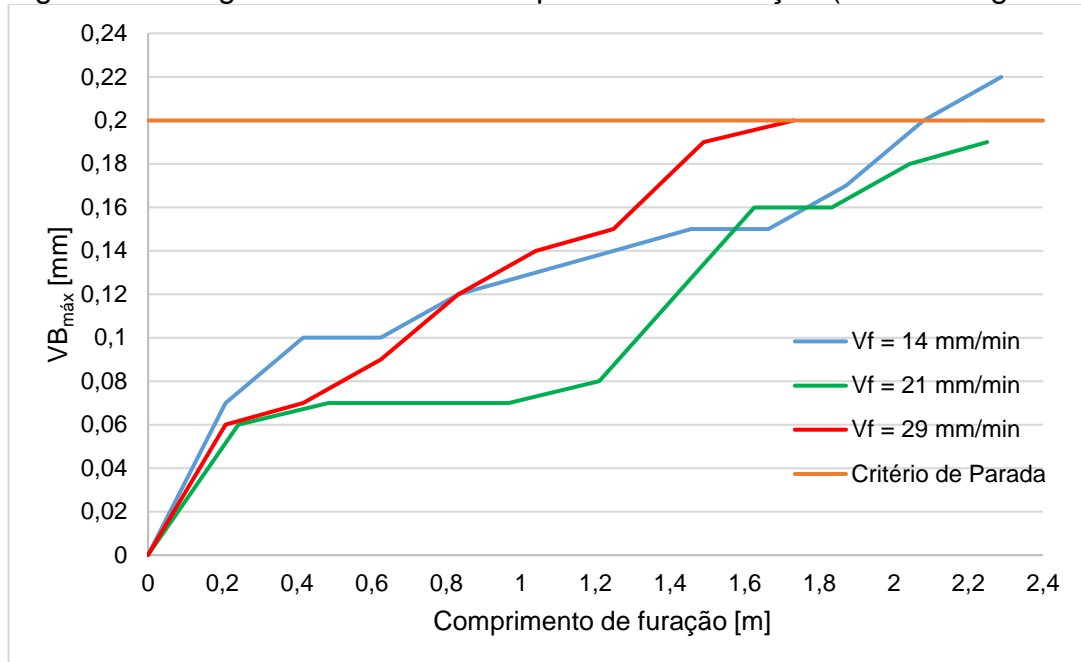
Figura 14: Desgaste de flanco x Comprimento de furação do ensaio 6.



Fonte: Autor (2022).

A Fig. 15 mostra o desgaste de flanco VB das três brocas de geometria H, com suas respectivas velocidades de avanço, 14, 21 e 29 mm/min.

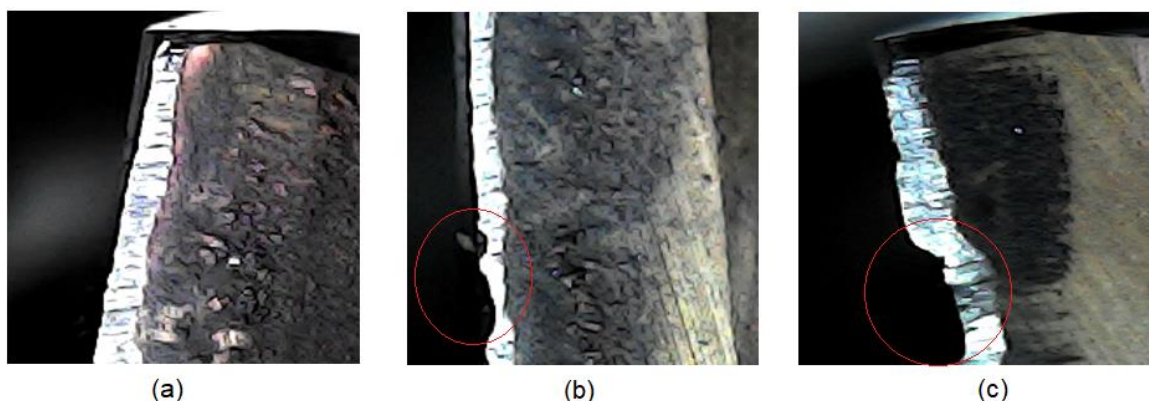
Figura 15: Desgaste de flanco x Comprimento de furação (brocas de geometria H).



Fonte: Autor (2022).

No decorrer dos testes com as brocas de geometria H, o cavaco produzido durante as furações eram de forma descontínua até a aproximação do final da vida das ferramentas, a partir desse ponto, apresentaram mais dificuldade em quebrar o cavaco. A Fig. 16, mostra o gume das brocas no encerramento do processo em cada ensaio das brocas de geometria H.

Figura 16: Lascas no gume de corte. (a) Ensaio 4. (b) Ensaio 5. (c) Ensaio 6.



Fonte: Autor (2022).

No grupo de brocas tipo N, com o aumento da velocidade de avanço  $v_f = 10$  mm/min para  $v_f = 14$  mm/min, houve uma redução de aproximadamente 37% na performance de comprimento de furação e quando empregado  $v_f = 21$  mm/min,

sucedeu uma redução em torno de 39% em relação a segunda broca e 61% em relação a primeira broca. No que se refere ao segundo grupo de brocas, com o aumento do  $v_f$  de 14 mm/min para 21 mm/min ocorreu uma redução de apenas 1,66% no desempenho da broca e quando aplicado  $v_f = 29$  mm/min, decorreu uma redução em torno de 23% em relação a segunda broca e 24% em relação a primeira broca.

Referindo-se apenas ao desempenho das ferramentas em função do aumento da velocidade de avanço de ambas as geometrias de brocas, nota-se a evolução do desgaste de flanco, corroborando com (TEKAÜT, DEMIR, ŞEKER, 2018) em que demonstrou o mesmo resultado.

O volume total usinado nos testes somam 536.553,87 mm<sup>3</sup>, a Tab. 7 mostra a taxa de remoção de material de cada broca utilizada e a estimativa de tempo de cada ferramenta para este processo.

Tabela 7: Taxa de remoção de material.

Geometria da Broca	Ensaio	Volume total usinado [mm <sup>3</sup> ]	Q [mm <sup>3</sup> /min]	Tempo total [h]
Tipo N	1	536.553,87	502,65	17,8
	2		703,72	12,7
	3		955,04	9,4
Tipo H	4	536.553,87	703,72	12,7
	5		1.055,58	8,5
	6		1.457,70	6,1

Fonte: Autor (2022).

Naturalmente, a ferramenta com maior velocidade de avanço será mais rápida no processo que as com velocidades menores. Relacionando com os resultados de desgaste de flanco e comprimento de furação apresentados, pode-se observar a superioridade das brocas de geometria H em relação as de geometria N, tendo potencial de furar mais metros, com maiores velocidades, diminuindo o tempo do processo.

As brocas H não apresentaram tamanha discrepância na redução da vida da ferramenta quando ampliado o avanço, de modo que as brocas 4 e 5 foram reduzidos 1,66% na vida da ferramenta aumentando 50% o  $v_f$ , de 14 mm/min para 21 mm/min. E quando o  $v_f$  foi ampliado para 29 mm/min, diminui em 23% a vida da ferramenta, porém a ferramenta trabalhou com uma velocidade em torno de 40%

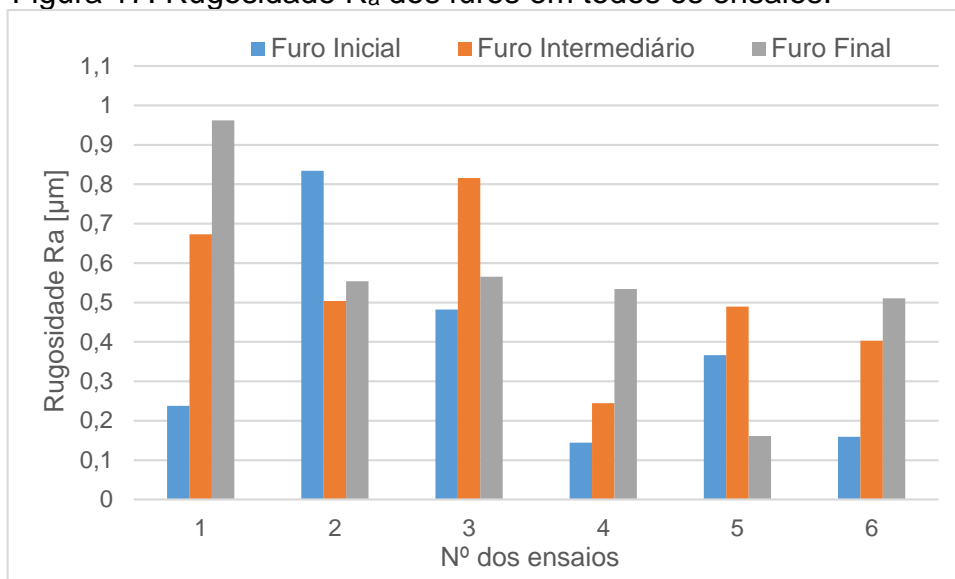
maior. Assim sugere-se um estudo de custos das ferramentas e horas trabalhadas, a fim de obter o melhor custo benefício do processo.

## 4.2 ENSAIOS DE RUGOSIDADE

A rugosidade foi avaliada nos parâmetros  $R_a$ ,  $R_z$  e  $R_t$  em três furos de cada ensaio, o inicial, intermediário e o furo final respectivamente. As Fig. 17, Fig. 18 e Fig. 19, mostram os resultados de rugosidade em  $\mu\text{m}$ .

Avaliando o parâmetro  $R_a$ , Fig. 17, foi constatado resultados opostos para os dois grupos de brocas, enquanto as brocas de geometria N obtiveram em média  $0,625 \mu\text{m}$  de rugosidade, os valores medidos rugosidade para a geometria H foram de  $0,335 \mu\text{m}$ , uma redução entorno de 86% na rugosidade.

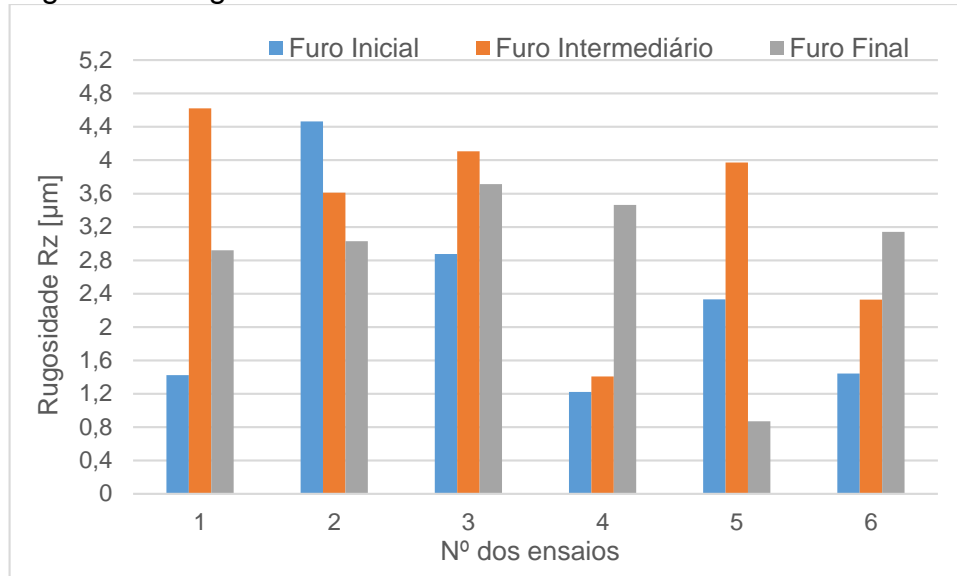
Figura 17: Rugosidade  $R_a$  dos furos em todos os ensaios.



Fonte: Autor (2022).

No parâmetro  $R_z$ , Fig. 18, segue o padrão de redução da rugosidade com as brocas de geometria H, porém desta vez entorno de 52%. As brocas de geometria N obtiveram em média  $3,419 \mu\text{m}$  de rugosidade, e as de geometria H obtiveram  $2,242 \mu\text{m}$  de rugosidade.

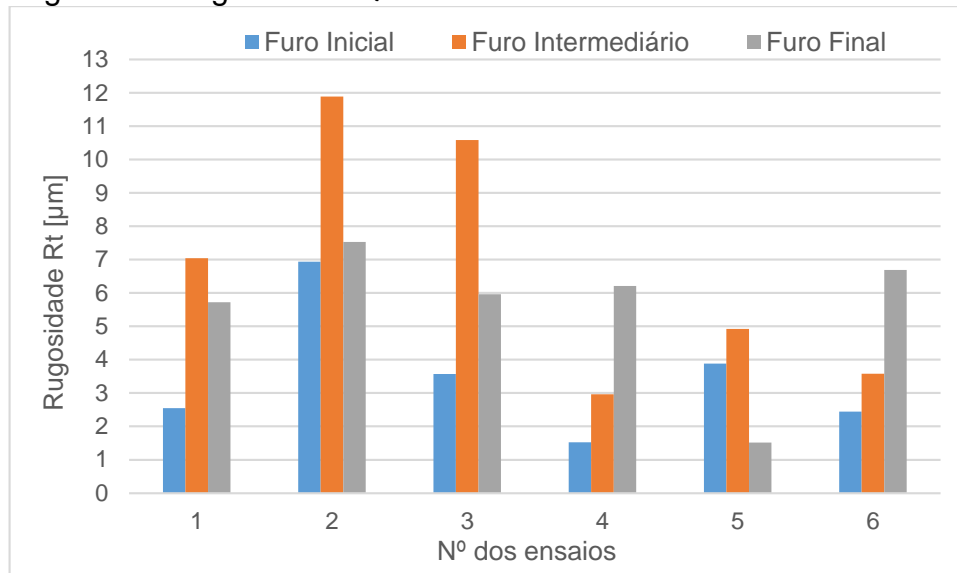
Figura 18: Rugosidade  $R_z$  dos furos em todos os ensaios.



Fonte: Autor (2022).

Já no parâmetro  $R_t$ , conforme Fig. 19, a discrepância entre valores entre ambos os grupos de brocas se assemelha com o do  $R_a$ . As brocas de geometria N obtiveram em média 6,868 µm de rugosidade  $R_t$ , enquanto as de geometria H obtiveram 3,748 µm, uma redução entorno de 83%.

Figura 19: Rugosidade  $R_t$  dos furos em todos os ensaios.



Fonte: Autor (2022).

Conforme as medições realizadas, observa-se que os ensaios 4, 5 e 6, as quais são de geometria H, obtiveram em média os valores mais favoráveis de  $R_a$  e  $R_t$

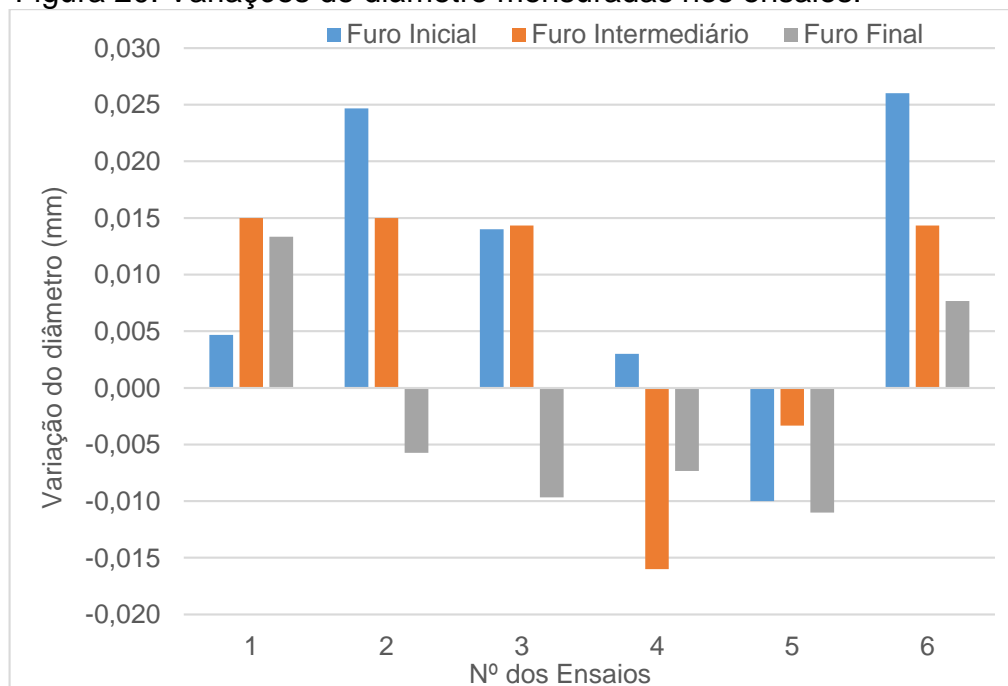
e grande parte dos melhores resultados em  $R_z$ , conciliando (MACHADO *et al*, 2015) no que tange à geometria do gume de corte ter grande efeito na rugosidade.

Considerando os três furos medidos em cada ensaio, o aumento da velocidade de avanço não influenciou diretamente nos resultados da rugosidade neste processo, divergindo do estudo de (JAFARIAN, SAMARIKHALAJ, 2019) o qual afirmou que quanto mais alta a velocidade de avanço maior a rugosidade. Estima-se que as velocidades de avanço não tiveram um aumento significativo para alterar consideravelmente os valores de rugosidade obtidos.

### 4.3 ENSAIOS DE CIRCULARIDADE

No que diz respeito aos resultados a partir dos ensaios de circularidade, os mesmos são apresentados conforme a Fig. 20.

Figura 20: Variações de diâmetro mensuradas nos ensaios.



Fonte: Autor (2022).

Analisando a Fig. 20, não há um padrão de desvio evidenciado neste processo, cada ensaio demonstrou diferentes evoluções dos desvios de circularidade e apenas dois picos altos, no segundo e sexto ensaio respectivamente.

Cada projeto define a qualidade do furo necessária, considerando uma tolerância superficial de furo H7, conforme ABNT NBR 6158:1995, para o diâmetro 8,0

mm há uma faixa de 0 à 0,015 mm para variar dentro da norma. Entre os nove furos realizados pelas brocas N, três não se adequaram a norma, enquanto dentre os nove furos perfurados pelas brocas H, seis não se adequaram a norma. A Tab. 8, mostra a média do desvio padrão para cada ensaio.

Tabela 8: Média do desvio padrão medido.

Geometria	Ensaio	Diâmetro Nominal (mm)	Média Desvio (mm)	Diâmetro Real (mm)
Tipo N	1	8,000	0,011	8,011
	2	8,000	0,011	8,011
	3	8,000	0,006	8,006
Tipo H	4	8,000	-0,007	7,993
	5	8,000	-0,008	7,992
	6	8,000	0,016	8,016

Fonte: Autor (2022).

De acordo com a Tab. 8, em média de cada ensaio realizado as brocas de geometria N se adequam a tolerância, obtendo 0,011 mm de desvio médio nos ensaios 1 e 2 e 0,006 mm no ensaio 3. Já nas brocas de geometria H, os ensaios 4 e 5 apresentaram valores em média abaixo do diâmetro nominal, fora da tolerância usada como referência, assim como o ensaio 6 que apresentou apenas um milésimo de milímetro acima da tolerância.

## 5 CONCLUSÕES

- No comparativo geral da usinagem, as brocas de geometria H apresentaram superioridade no que diz respeito à vida da ferramenta e ao tempo utilizado para tamanho desempenho e aos valores de rugosidade, enquanto na circularidade as brocas de geometria N foram melhores;
- O parâmetro velocidade de avanço influencia diretamente no desgaste das ferramentas de corte, contribuindo para um desgaste mais rápido e consequentemente diminuindo o tempo de vida da ferramenta;
- Em relação as brocas de geometria N, com o aumento da velocidade de avanço as mesmas apresentaram falhas preliminares mais rapidamente e com maior disparidade entre as brocas;
- Com o aumento da velocidade de avanço, as brocas de geometria H comportaram-se melhor em função ao desgaste de flanco, a diferença na



performance entre as brocas foram mais semelhantes e apenas uma das três não alcançou o primeiro critério de parada  $VB = 0,2$  mm;

- As brocas de geometria N, quando utilizada baixas velocidades, se mostraram utilizáveis mesmo não sendo tão produtivas;
- Avaliando a rugosidade medida, os valores não sofreram grande influência com o aumento da velocidade de avanço em ambas as geometrias, para este processo;
- Mesmo com todos os ensaios apresentando bons valores de rugosidade, as brocas de geometria H apresentaram, em todas as velocidades usadas, menores valores em relação as de geometria N;
- Nos ensaios de circularidade, as brocas N apresentaram melhores resultados, na maioria dentro da tolerância adotada, enquanto as brocas de geometria H apresentaram resultados na maioria fora da tolerância;
- Pode-se afirmar que as brocas de melhor desempenho foram a número 5 e 6, mesmo que a broca 6 teve redução 23 % na sua vida, ela operou cerca de 40 % mais veloz;
- Como sugestões para trabalhos futuros, utilizando os mesmos critérios, verificar a diferença na furação com fluido refrigerante de forma externa e interna e também um estudo detalhado de custos do processo.

## REFERÊNCIAS

AÇOS FAVORIT. **Certificado de qualidade**. Cachoeirinha: Aços Favorit Distribuidora Ltda, 2022.

ALMEIDA, Déborah Oliveira. **Investigação de desvios geométricos no alargamento de ferro fundido om ferramentas revestidas**. Dissertação de Pós-graduação. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6158: Sistema de tolerâncias e ajustes**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 3685: Ensaio de vida da ferramenta de ponta única para torneamento**. Rio de Janeiro, 2017.

BFT BURZONI. **Catalogo 2022**. Podenzano: BFT Buzoni Srl, 2022.

BLACK, J T.; KOHSER, Ronald A. **Materials and Process in Manufacturing**. 10<sup>a</sup> ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.

CATELAN, Jaider. **Minimização dos erros de circularidade causado pela fixação de peças com baixa rigidez através a modificação estrutural**. Dissertação de Mestrado. Universidade do estado de Santa Catarina. Joinville, 2015

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

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 1<sup>a</sup> ed. 18<sup>a</sup> reimpressão. São Paulo: Blucher, 2018.

FRACARO, Janaina. **Fabricação pelo processo de usinagem e meios de controle**. 1<sup>a</sup> ed. Curitiba: InterSaberes, 2017.

GABARO, João Fredolim. **Estudo da tenacidade do aço ferramenta H13**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

JAFARIAN, Farshid; SAMARIKHALAJ, Hojjat. **Experimental Investigation and Optimizing Geometrical Characteristics and Surface Quality in Drilling of AISI H13 Steel**. Journal of Applied and Computational Mechanics. University of Ahvaz. Tehran, 2019

MACHADO, Álisson Rocha; et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo: Blucher, 2015.

MARTINS, Paulo Sérgio. **Avaliação dos Sistemas de Fixação Hidráulico e térmico de Broca de Metal Duro em Furação do Cabeçote do Motor Fire**. Dissertação de Mestrado. Pontifca Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

MERCADO em crescimento. **Ipesi Metal Mecânica**. Nº 301. p.12, jan. 2020.

NICOLA, Gerson Luiz. **Análise de superfícies fresadas por diferentes estratégias em aço AISI H13 endurecido**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2008.

OERLIKON BALZERS **Balinit Durana**. Disponível em: <  
[https://www.oerlikon.com/balzers/br/br/portfolio/solucoes-de-superficie-balzers/revestimentos-a-base-de-pvd-e-pacvd/balinit/a-base-de-tialn/balinit-durana/?tab=downloads\\_3](https://www.oerlikon.com/balzers/br/br/portfolio/solucoes-de-superficie-balzers/revestimentos-a-base-de-pvd-e-pacvd/balinit/a-base-de-tialn/balinit-durana/?tab=downloads_3) > Acesso em: 20 outubro 2022.

OERLIKON BALZERS **Perfuração**. Disponível em: <  
[https://www.oerlikon.com/balzers/br/br/aplicacoes/perfuracao/?selector%5Bnode%5D=14&selector%5Bmaterial\\_group%5D=4&selector%5Bparameters%5D%5B2%5D=4&selector%5Bparameters%5D%5B1%5D=1](https://www.oerlikon.com/balzers/br/br/aplicacoes/perfuracao/?selector%5Bnode%5D=14&selector%5Bmaterial_group%5D=4&selector%5Bparameters%5D%5B2%5D=4&selector%5Bparameters%5D%5B1%5D=1) > Acesso em: 04 novembro 2022.

REBEYKA, Claudimir José. **Princípio dos processos de fabricação por usinagem**. 1ª ed. Curitiba: InterSaberes, 2016.

SCHMIDT, Anderson. **Análise dos efeitos da filtragem na medição de circularidade em máquinas de medir coordenadas utilizando *scanning***. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

SILVA, André Luiz da Costa e; MEI, Paulo Roberto. **Aços e Ligas especiais**. 2ª ed. Sumaré: Eletrometal S.A Metais Especiais, 1988.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de Corte II**. 2ª ed. Florianópolis: UFSC, 1995.

STEPHENSON, David A.; AGAPIOU, John S.. **Metal Cutting Theory and Practice**. New York: Marcel Dekker, 1997.

TEKAÜT, Ismail; DEMIR, Halil; ŞEKER, Ulvi. **Experimental analysis and theoretical modelling of cutting parameters in the drilling of aisi h13 steel with coated and uncoated drills**. Journal Transactions of Famena. University of Zagreb. Zagreb, 2018.

TRENT, Edward; WRIGHT, Paul. **Metal Cutting**. 4ª ed. Woburn: Butterworth-Heinemann, 2000.

YOUSSEF, Helmi A.; EL-HOFY, Hassan. **Maching Technology Machine Tools and Operatios**. Boca Raton: CRC Press, 2008.