

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**LORENZO ROSSI BORDIGNON**

**ANÁLISE DOS DESGASTES DE BROCAS HELICOIDAIS DE METAL DURO  
NO PROCESSO DE FURAÇÃO DE CHAPAS DE AÇO SAE 1010**

**CAXIAS DO SUL**

**2024**

**LORENZO ROSSI BORDIGNON**

**ANÁLISE DOS DESGASTES DE BROCAS HELICOIDAIS DE METAL DURO  
NO PROCESSO DE FURAÇÃO DE CHAPAS DE AÇO SAE 1010**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica pela Universidade de Caxias do Sul.

Área de Concentração: Usinagem

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Panosso Zeilmann

**CAXIAS DO SUL**

**2024**

**LORENZO ROSSI BORDIGNON**

**ANÁLISE DOS DESGASTES DE BROCAS HELICOIDAIS DE METAL DURO  
NO PROCESSO DE FURAÇÃO DE CHAPAS DE AÇO SAE 1010**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica pela Universidade de Caxias do Sul.

Área de Concentração: Usinagem

Aprovado em: 16/12/2024.

**Banca Examinadora**

---

Prof. Orientador Dr. Engº. Rodrigo Panosso Zeilmann  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Avaliador. Me. Engº. Vagner Grison  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Avaliador. Dr. Engº. Leandro Corso  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

## RESUMO

A busca pela excelência fabril requer produtos de padrão acima da média. Para isso, é necessária muita atenção aos detalhes que fazem a diferença na qualidade da peça a ser produzida. A escolha correta de ferramentas de trabalho e um bom estudo do processo são determinantes para as empresas optarem pelo item correto. Este estudo objetivou analisar os desgastes de três modelos de brocas helicoidais de metal duro utilizadas no processo de furação de chapas de aço SAE 1010 na empresa CNS. Na referida empresa são usinados diversos produtos, dentre eles tem-se os protetores laterais que são instalados em caminhões, compostos de aço SAE 1010, ênfase deste estudo. Para selecionar as ferramentas, foi visto o contexto dos conteúdos envolvendo a relação máquina-ferramenta-produto, de modo a estudar desde o processo de furação com suas características e aplicações; os desgastes de ferramentas de corte; as características das brocas de metal duro; a geometria das brocas e; os revestimentos de ferramentas de metal duro. A partir do estudo da literatura, foram constatadas as opções de brocas helicoidais e de revestimentos para o uso no aço SAE 1010. A empresa CNS vem utilizando as brocas helicoidais de metal duro que são classificadas na classe M conforme Norma ISO 513:2013 e; de revestimento TiCN, as quais são adquiridas via *online*. Para o estudo foram selecionadas as brocas helicoidais de revestimentos P/TiN e P/TiAlN para comparar com a broca helicoidal M/TiCN. Após a seleção foram iniciados os testes de furação com as três brocas helicoidais na empresa CNS e depois iniciou-se a análise dos desgastes no Laboratório de Usinagem Mecânica da UCS com o apoio do GUS. Os resultados mostraram que o estudo foi benéfico, pois foi possível identificar os mecanismos de desgaste e os tipos de desgastes avaliando-se a melhor opção de broca helicoidal a ser utilizada pela empresa, sugerindo-se a substituição da broca helicoidal M/TiCN pelas brocas P/TiN e P/TiAlN, as quais mostraram capacidade de furação superior, indicaram maior durabilidade e apresentaram menos desgastes.

**Palavras-chave:** Brocas helicoidais; furação; usinagem; desgastes.

## ABSTRACT

The pursuit of manufacturing excellence requires above-average standard products. To achieve this, great attention to detail is required, which makes a difference in the quality of the part to be produced. The correct choice of work tools and a thorough study of the process are crucial for companies to choose the right item. This study aimed to analyze the wear of three models of carbide twist drills used in the drilling process of SAE 1010 steel plates at the company CNS. The company manufactures several products, including side protectors installed on trucks, made of SAE 1010 steel, which is the focus of this study. To select the tools, the context of the contents involving the machine-tool-product relationship was considered, in order to study the drilling process with its characteristics and applications; the wear of cutting tools; the characteristics of carbide drills; the geometry of the drills; and the coatings of carbide tools. From the literature study, the options of twist drills and coatings for use in SAE 1010 steel were identified. The company CNS has been using carbide twist drills that are classified in class M according to ISO 513:2013 and; with TiCN coating, which are purchased online. For the study, twist drills with P/TiN and P/TiAlN coatings were selected to compare with the M/TiCN twist drill. After the selection, drilling tests were started with the three twist drills at the company CNS and then the wear analysis began at the Mechanical Machining Laboratory of UCS with the support of GUS. The results showed that the study was beneficial, as it was possible to identify the wear mechanisms and types of wear, evaluating the best twist drill option to be used by the company, suggesting the replacement of the M/TiCN twist drill by the P/TiN and P/TiAlN drills, which showed superior drilling capacity, indicated greater durability and presented less wear.

**Keywords:** Twist drills; drilling; machining; wear.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Imagem da empresa .....	16
Figura 2 – Laboratório de Usinagem Mecânica UCS.....	17
Figura 3 – Exemplos de aplicações de furação.....	19
Figura 4 – Evolução do desgaste em brocas helicoidais .....	22
Figura 5 – Mecanismos de desgaste das ferramentas .....	23
Figura 6 – Principais mecanismos e causas geradores de desgastes .....	24
Figura 7 – Desgaste de flanco de brocas helicoidais.....	27
Figura 8 – Formas de desgastes em brocas helicoidais .....	28
Figura 9 – Desgaste de flanco de uma broca helicoidal “nova (a) e usada (b)” .....	30
Figura 10 – Imagens microscópicas das ferramentas .....	31
Figura 11 – Classificação de metais duros .....	33
Figura 12 – Ferramenta ideal para a usinagem.....	34
Figura 13 – Aspectos da geometria de corte.....	35
Figura 14 – Denominações em brocas helicoidais .....	36
Figura 15 – Superfícies convexas geradas e contornos .....	37
Figura 16 – Geometria da ponta de uma broca helicoidal.....	38
Figura 17 – Protetor lateral montado para chassis.....	44
Figura 18 – Protetor lateral montado e instalado.....	45
Figura 19 – Tubos brutos em processo de corte .....	46
Figura 20 – Protetores laterais prontos para montagem e entrega.....	47
Figura 21 – Modelo do Centro de Usinagem da empresa CNS .....	48
Figura 22 – Estereoscópio trinocular.....	49
Figura 23 – Centro de Usinagem da empresa CNS.....	50
Figura 24 – Fluxograma das atividades .....	54
Figura 25 – Broca helicoidal M/Ti/CN nova.....	57
Figura 26 – Broca M/TiCN teste de furação de 480 mm .....	58
Figura 27 – Broca M/TiCN teste de furação de 1.512 mm .....	59
Figura 28 – Modelo da broca helicoidal MD 12,5 mm (marca Widia).....	60
Figura 29 – Broca helicoidal P/TiAlN nova.....	61
Figura 30 – Broca helicoidal P/TiAlN teste de furação de 480 mm .....	63
Figura 31 – Broca helicoidal P/TiAlN teste de furação de 1.512 mm .....	64
Figura 32 – Broca helicoidal P/TiAlN teste de furação de 7.512 mm .....	65

Figura 33 – Broca helicoidal P/TiAlN teste de furação de 13.512 mm .....	66
Figura 34 – Modelo da broca helicoidal MD 12,5 mm (marca Kennametal) .....	67
Figura 35 – Broca helicoidal P/TiN nova.....	68
Figura 36 – Broca helicoidal P/TiN teste de furação de 480 mm.....	69
Figura 37 – Broca helicoidal P/TiN teste de furação de 1.512 mm.....	70
Figura 38 – Broca helicoidal P/TiN teste de furação de 7.512 mm.....	71
Figura 39 – Broca helicoidal P/TiN teste de furação de 13.512 mm.....	72
Figura 40 – Imagens dos testes de medições.....	74

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características das aplicações de furação na usinagem.....	19
Quadro 2 – Brocas helicoidais selecionadas.....	52



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados dos desgastes das brocas helicoidais .....	30
Tabela 2 – Tipos de ângulos para brocas helicoidais .....	39
Tabela 3 – Custos da broca helicoidal M/TiCN .....	52
Tabela 4 – Preços das duas brocas helicoidais .....	53
Tabela 5 – Mecanismos e tipos de desgaste das três brocas helicoidais .....	73
Tabela 6 – Testes de medições das três brocas helicoidais .....	75
Tabela 7 – Valores das três brocas helicoidais e testes de furação.....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CNI	Confederação Nacional da Indústria
Cm	Largura da faixa de desgaste
CNS	Competência Notável em Soluções
Ct	Ponto mais alto do desgaste
GUS	Grupo de Usinagem
HRc	Dureza Rockwell C
HSS	Aço Rápido
HV	Dureza Vickers
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> [Organização Internacional para Padronização]
Pm	Medidas de lascamento para a largura
Pt	Medidas de lascamento para a profundidade
RPM	Rotações Por Minuto
RS	Rio Grande do Sul
UCS	Universidade de Caxias do Sul
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
Tipo H	Materiais duros e frágeis
Tipo N	Materiais usuais
Tipo W	Materiais moles

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\psi$	Ângulo do gume transversal
$\delta$	Ângulo de hélice
$\sigma$	Ângulo de ponta
$\gamma$	Ângulo de saída
°	Graus
$\mu\text{m}$	Micrômetro
Al	Alumínio
$\text{Al}_2\text{O}_3$	Óxido de Alumínio
C	Carbono
Co	Cobalto
D	Duro
G	Gume
H	Desgaste das guias
Kb	Desgaste de cratera
mm	Milímetro
N	Nitrogênio
NbC	Carboneto de Nióbio
R\$	Reais
TaC	Carboneto de Tântalo
Ti	Titânio
TiAlN	Nitreto de Titânio-Alumínio
TiC	Carboneto de Titânio
TiCN	Carbonitreto de Titânio
TiN	Nitreto de Titânio
VB	Desgaste de flanco
$\text{VB}_{\text{med}}$	Desgaste de flanco médio
$\text{VB}_{\text{max}}$	Desgaste de flanco máximo
WC	Carboneto de Tungstênio
WCCo	Carboneto de Tungstênio-Cobalto

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	JUSTIFICATIVAS.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	15
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
1.3	AMBIENTE DE REALIZAÇÃO DO ESTUDO .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1	PROCESSO DE FURAÇÃO: CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES.....	18
2.2	DESGASTES DE FERRAMENTAS DE CORTE .....	21
<b>2.2.1</b>	<b>Mecanismos de desgastes .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Tipos de desgastes.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Desgastes de ferramentas de metal duro.....</b>	<b>29</b>
2.3	CARACTERÍSTICAS DAS BROCAS DE METAL DURO .....	31
2.4	GEOMETRIA DAS BROCAS .....	35
<b>2.4.1</b>	<b>Geometria das brocas helicoidais.....</b>	<b>36</b>
2.5	REVESTIMENTOS DE FERRAMENTAS DE METAL DURO .....	39
<b>2.5.1</b>	<b>Revestimento de Carboneto de Titânio (TiC).....</b>	<b>40</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Revestimento de Nitreto de Titânio (TiN).....</b>	<b>40</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Revestimento de Carbonitreto de Titânio (TiCN).....</b>	<b>41</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Revestimento de Nitreto de Titânio-Alumínio (TiAlN).....</b>	<b>41</b>
<b>2.5.5</b>	<b>Revestimento de Óxido de Alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).....</b>	<b>42</b>
<b>2.5.6</b>	<b>Custo <i>versus</i> benefício dos revestimentos.....</b>	<b>42</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>43</b>
3.1	PROBLEMÁTICA .....	43
3.2	PROPOSTA DE INTERVENÇÃO.....	43
3.3	PRODUTO .....	44
3.4	EQUIPAMENTOS .....	47
3.5	CONDIÇÕES DE USINAGEM.....	49
3.6	FERRAMENTAS SELECIONADAS PARA OS TESTES .....	50
3.7	CUSTOS.....	52

3.8	ETAPAS DO TRABALHO: FLUXOGRAMA .....	53
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
4.1	BROCA HELICOIDAL M/TiCN .....	56
4.1.1	<b>Furação de 480 mm .....</b>	<b>58</b>
4.1.2	<b>Furação de 1.512 mm .....</b>	<b>58</b>
4.2	BROCA HELICOIDAL P/TiAlN .....	60
4.2.1	<b>Furação de 480 mm .....</b>	<b>62</b>
4.2.2	<b>Furação de 1.512 mm .....</b>	<b>63</b>
4.2.3	<b>Furação de 7.512 mm .....</b>	<b>64</b>
4.2.4	<b>Furação de 13.512 mm .....</b>	<b>66</b>
4.3	BROCA HELICOIDAL P/TiN .....	67
4.3.1	<b>Furação de 480 mm .....</b>	<b>69</b>
4.3.2	<b>Furação de 1.512 mm .....</b>	<b>70</b>
4.3.3	<b>Furação de 7.512 mm .....</b>	<b>71</b>
4.3.4	<b>Furação de 13.512 mm .....</b>	<b>72</b>
4.4	COMPARATIVO DAS TRÊS BROCAS HELICOIDAIS UTILIZADAS.....	73
4.4.1	<b>Testes de medições.....</b>	<b>74</b>
4.5	AVALIAÇÃO DO CUSTO <i>VERSUS</i> BENEFÍCIO À EMPRESA.....	75
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>77</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>79</b>
	<b>ANEXO A – DIMENSÕES NOMINAIS DO TUBO DE AÇO .....</b>	<b>85</b>
	<b>ANEXO B – AQUISIÇÃO BROCA HELICOIDAL P/TiAlN.....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXO C – AQUISIÇÃO BROCA HELICOIDAL P/TiN.....</b>	<b>89</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A usinagem é um processo de fabricação que envolve a remoção de material para dar forma aos mais variados tipos de componentes. São usinados os metais, as madeiras, os polímeros tais como o tecnil ou a poliamida, os cristais, as borrachas, dentre outros. A aplicação da usinagem é muito ampla, sendo mais conhecida na indústria metalmeccânica.

Segundo a publicação de Usinagem Brasil (2024), 73% das grandes indústrias que operam no Brasil apresentam planos de investimentos para o ano de 2024. De acordo com o superintendente de economia da Confederação Nacional da Indústria (CNI), o Sr. Mário Sérgio Telles, os principais objetivos dos investimentos planejados pelas grandes empresas para o ano de 2024, são a ampliação ou a melhoria da capacidade produtiva (Usinagem Brasil, 2024). Para isso, se fazem necessários estudos como o presente.

Dentre os principais procedimentos industriais, um dos mais importantes compreende o processo de furação, o qual esse trabalho se objetivou, sendo que são utilizadas as ferramentas, possibilitando as operações em trabalhos nos centros de usinagem. Para maximizar a produtividade e garantir a qualidade do processo, a escolha correta das brocas de furação se torna essencial. Ademais, são utilizados diversos mecanismos para melhorar a qualidade do produto e aumentar a durabilidade da ferramenta, como por exemplo, a adoção de revestimentos das brocas, que também são abordados neste trabalho.

Para este estudo, é analisada a ferramenta atual utilizada na empresa CNS – Competência Notável em Soluções, onde na atualidade são empregadas as brocas helicoidais de metal duro de Carboneto de Tungstênio (WC) com Dureza Rockwell C (HRC) 65 e são revestidas de Carbonitreto de Titânio (TiCN), sendo que serão sugeridas duas outras brocas helicoidais, no intuito de estabelecer um comparativo e uma relação de custo *versus* benefício à referida empresa.

Este trabalho foi dividido em cinco capítulos da seguinte forma. O primeiro apresenta essa introdução contemplando a contextualização do tema, as justificativas e os objetivos (geral e específicos) e, também, é descrito o ambiente de realização do estudo.

No capítulo dois é realizada uma revisão bibliográfica dos temas relacionados ao estudo proposto, são eles: as características e as aplicações do processo de furação; os desgastes de ferramentas de corte, abordando os mecanismos de desgaste e os tipos de desgastes; as características das brocas de metal duro; a geometria das brocas em geral e das brocas helicoidais e, por último, são apresentados os principais tipos de revestimentos em ferramentas de metal duro utilizadas na usinagem.

Já no capítulo três é descrita a metodologia do trabalho, sendo que é apresentada inicialmente a problemática. Na sequência do capítulo é descrita a proposta de intervenção, apresentando também o produto, os equipamentos, as condições de usinagem, as ferramentas selecionadas para a realização dos testes práticos, os custos envolvidos e o fluxograma com as etapas do trabalho.

No capítulo quatro é apresentado o desenvolvimento da proposta de intervenção sugerida à empresa analisada, apresentando os resultados dos ensaios das três brocas selecionadas e a avaliação do custo *versus* benefício da proposta para a empresa CNS.

Enquanto que no capítulo cinco é descrita a conclusão obtida com a realização do estudo. E, nas partes finais são listadas as referências utilizadas ao longo do trabalho e apresentados os respectivos apêndices que complementam o estudo.

## 1.1 JUSTIFICATIVAS

A fim de compreender melhor o comportamento das ferramentas de corte no processo de furação, este trabalho se justifica, pois visa estudar com mais profundidade o desgaste das brocas helicoidais de metal duro durante a sua operação. Por se tratar de um processo muito comum no polo metalmeccânico, são encontradas diversas dificuldades, principalmente na pauta das ferramentas de corte.

Ampliar a vida útil da ferramenta de trabalho promove as suas trocas com menor frequência durante o processo fabril, aumentando a disponibilidade do equipamento. Além disso, estudar e compreender de forma mais aprofundada as estratégias de usinagem, juntamente com o conhecimento para oferecer a melhor solução de ferramenta às empresas, resulta em benefícios significativos em termos de produtividade, qualidade, custo e tempo. Isso confere uma vantagem competitiva substancial às empresas na disputa com os concorrentes.

Para tanto é preciso desenvolver novos estudos, com a finalidade de realizar testes nas ferramentas de usinagem, no intuito de identificar os desgastes que são gerados, buscando o uso de brocas helicoidais mais adequadas na operação de furação, sendo apoiados por análises laboratoriais e, identificando também, a relação entre o custo *versus* benefício à empresa, é o que justifica o desenvolvimento deste estudo.

## 1.2 OBJETIVOS

A seguir, apresentam-se os objetivos (geral e específicos) definidos neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), que serão alcançados por meio de comparações teóricas e práticas de forma ampla e específica.

### 1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral analisar os desgastes de três modelos de brocas helicoidais de metal duro utilizadas no processo de furação de chapas de aço SAE 1010 na empresa CNS.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos definidos para atender ao objetivo geral deste trabalho estão listados na sequência:

- a) selecionar os modelos das brocas helicoidais de metal duro para compor o estudo considerando-se a literatura;
- b) realizar os ensaios comparativos de desgastes dos três modelos das brocas helicoidais de metal duro selecionadas;
- c) avaliar os preços entre os três modelos de brocas helicoidais selecionados e testados para mostrar o custo *versus* benefício à empresa CNS.

## 1.3 AMBIENTE DE REALIZAÇÃO DO ESTUDO

Para realizar os ensaios de desgastes e a análise das ferramentas de usinagem serão utilizadas três brocas helicoidais de metal duro, as quais serão fornecidas pela empresa em estudo, para que se possa realizar a comparação entre os modelos de brocas helicoidais selecionados.

O objeto de estudo compreende uma metalúrgica familiar administrada por três diretores (dois irmãos e um primo), denominada CNS – Competência Notável em Soluções, fundada, no ano de 1994, pertencente ao ramo metalmeccânico, contando com uma equipe de 30 funcionários, possui certificação na Norma ISO 9001, apresenta um amplo espaço fabril e está localizada no Bairro São Giácomo, na cidade de Caxias do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul (RS), como ilustrado na Figura 1.



Figura 1 – Imagem da empresa



Fonte: imagem cedida pela empresa (2024).

Dentre as áreas de atuação da CNS tem-se: a estamperia, a usinagem (corte, furação, pintura e montagem), a soldagem e a laminação de rosca. Os principais clientes da referida empresa pertencem aos ramos rodoviário (Randon e Fras-le); moveleiro (Quadrilátero); metalúrgico; agrícola (Mec-Rul); matrizaria (MRplast); dentre outros clientes.

Cabe destacar que o acadêmico não atua na empresa CNS, mas tem proximidade com os diretores, o que lhe permitiu conhecer a empresa por meio de visitas no local e, teve a oportunidade de conhecer melhor o processo realizado no centro de usinagem, ênfase deste estudo, e obteve as informações com os três diretores, bem como com os responsáveis pelos setores de produção (operadores), de engenharia (engenheiro mecânico) e de compras (comprador). Além disso, a direção da empresa disponibilizou as imagens que estão apresentadas ao longo do estudo.

Por sua vez, as análises dos desgastes dos três modelos das ferramentas serão realizadas nas dependências dos laboratórios da área de Ciências Exatas e Engenharia da Universidade de Caxias do Sul (UCS) juntamente com o apoio do Grupo de Usinagem (GUS), criado em 2002, compondo-se por professores pesquisadores, mestrandos e acadêmicos que atuam em pesquisas de base e aplicadas nas áreas de processo de manufatura por usinagem (UCS, 2012).

A UCS, foi fundada no ano de 1967 e vem desde sempre trabalhando em conjunto com as indústrias da Região da Serra Gaúcha, no intuito de auxiliar na melhoria contínua dos processos dessas indústrias por meio de pesquisas.

Para este estudo, em síntese, os testes práticos serão desenvolvidos na empresa CNS para a verificação dos desgastes das brocas helicoidais selecionadas e as análises dos desgastes

observados serão realizadas no Laboratório de Usinagem Mecânica, que está situado no Bloco D da UCS em conjunto com o GUS.

Acrescenta-se que o Laboratório de Usinagem Mecânica da UCS está direcionado à prática de tecnologia mecânica, englobando os processos de usinagem, como ilustrado nas imagens apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Laboratório de Usinagem Mecânica UCS



Fonte: imagem cedida pelo Laboratório de Usinagem mecânica da UCS (2024).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo conta com o embasamento teórico essencial para o desenvolvimento do estudo proposto. Inicia-se com uma análise do processo de furação, apresentando as suas principais características e aplicações. Em seguida, realiza-se uma explicação sobre os desgastes de ferramentas de corte abrangendo os mecanismos e os tipos de desgastes, e as suas consequências na eficiência da broca.

Por fim, é descrito o conteúdo sobre as características das brocas helicoidais de metal duro, onde são apresentados o material da broca, expondo também os aspectos técnicos, a geometria das brocas e os principais revestimentos utilizados em ferramentas de usinagem.

### 2.1 PROCESSO DE FURAÇÃO: CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES

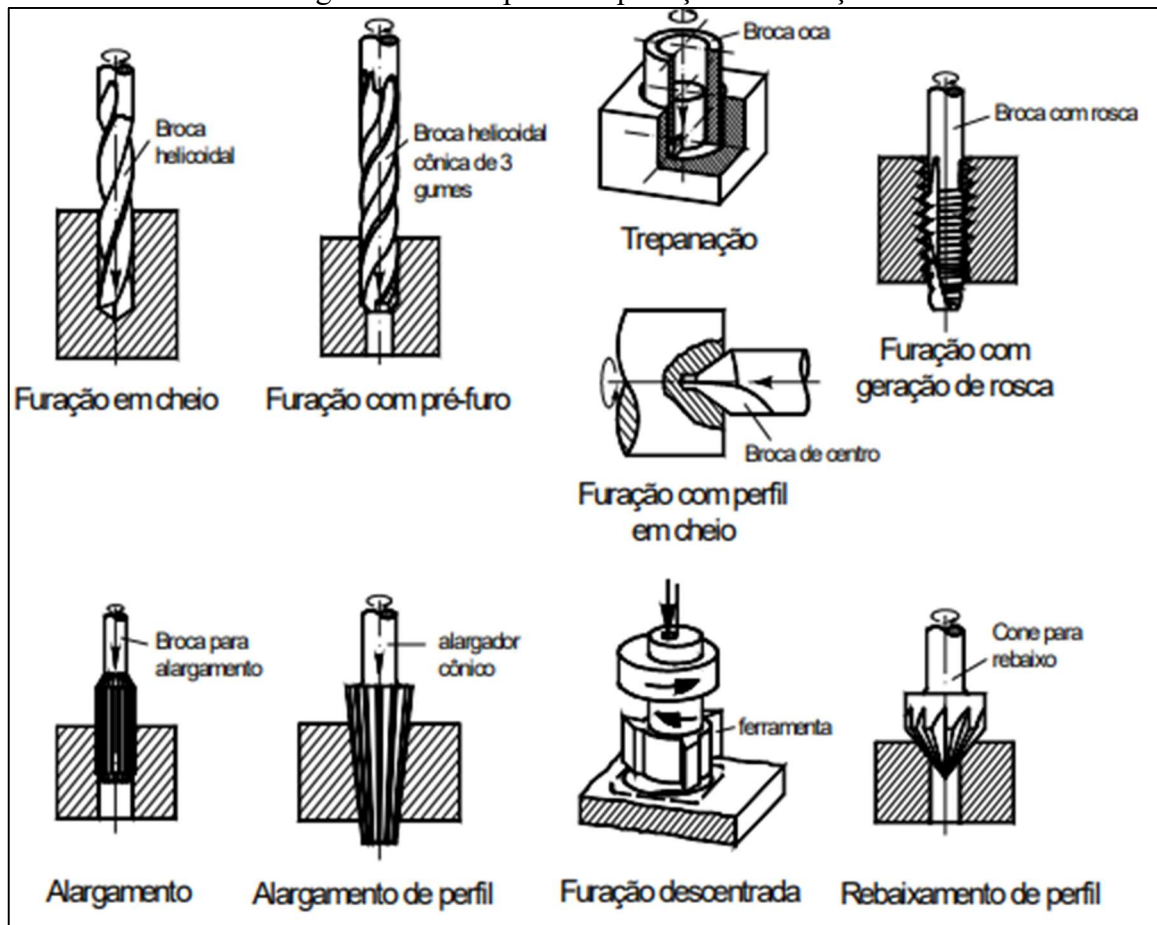
A furação compreende um processo mecânico de usinagem que é destinado à obtenção de um furo, geralmente, cilíndrico em uma peça, com o auxílio de uma ferramenta, normalmente, multicortante (König; Klocke, 2002). Neste sentido, a ferramenta ou a peça giram e, ao mesmo tempo a ferramenta ou a peça acabam se deslocando em conformidade com uma trajetória retilínea, que coincide ou se apresenta paralelamente ao eixo principal da máquina em operação (Ferraresi, 1970).

De acordo com Castillo (2005), König e Klocke (2002) e Stemmer (2005), o processo de furação apresenta algumas características peculiares, as quais estão listadas na sequência:

- a) a velocidade de corte se configura nula no centro da broca, chegando ao seu valor máximo no contorno da ferramenta ou no diâmetro máximo da broca;
- b) a furação quando apresentar canto vivo, a quina da broca estará sujeita a desgastes excessivos;
- c) apresentação de dificuldades para o transporte de cavacos;
- d) distribuição inadequada de calor na região de corte;
- e) o processo de geração de cavaco é de difícil observação;
- f) as guias da ferramenta se atritam com a parede do furo durante o processo.

O processo de furação se caracteriza por ser subdividido em várias operações, dentre elas têm-se: a furação em cheio; o escareamento ou furação com pré-furo; a furação escalonada; a furação de centros; a trepanação; dentre outras (Sousa, 2011). Na Figura 3 são ilustrados alguns exemplos destas aplicações.

Figura 3 – Exemplos de aplicações de furação



Fonte: Pimentel (2014, p. 42).

Para complementar a Figura 3, no Quadro 1 estão descritas as características das principais aplicações de furação na usinagem.

Quadro 1 – Características das aplicações de furação na usinagem

<b>(continua)</b>	
<b>Tipos</b>	<b>Descrição</b>
Furação em cheio	Processo de furação que é destinado para a obtenção de um furo cilíndrico em uma peça, onde todo o material contido no volume do furo é retirado na forma de cavaco.
Escareamento ou furação com pré-furo	Processo de furação que tem por finalidade obter um furo em formato cilíndrico em uma peça já previamente furada ou na eliminação das rebarbas.
Furação de centros	Processo que tem por objetivo obter os furos de centros, no intuito de facilitar a fixação da peça para as operações posteriores.
Trepanação	Processo de furação onde somente o material contido no volume do furo, que está localizado próximo à circunferência que delimita o furo, é removido, sendo que um núcleo permanece maciço após a operação.
Furação descentrada	Processo em que os eixos de rotação da ferramenta e da máquina não coincidem, podendo gerar os furos e as geometrias diferentes.

<b>(continuação)</b>	
<b>Aplicações</b>	<b>Descrição</b>
Furação com geração de rosca	Processo de usinagem cujo a função é produzir as rocas internas e as externas.
Furação com perfil em cheio	Realizada para criar furos com formas especiais, sendo que a broca possui uma geometria específica permitindo a criação de furos com perfis personalizados para uma usinagem apropriada, sendo que essa técnica geralmente se utiliza nas aplicações que requerem encaixes precisos ou conexões específicas.
Alargamento	Processo de usinagem em geral utilizado para produzir furos com alta definição geométrica, dimensional e qualidade superficial.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Schimigue *et al.* (2016); Wolf Brasil (2024).

No entanto, o processo de furação apresenta, desvantagens, uma delas é a baixa velocidade de produção. Em função disso, qualquer aperfeiçoamento que seja realizado para aumentar a produção de um processo de usinagem representará um ganho significativo (Trent; Wright, 2000; Pimentel, 2014).

Outra desvantagem da furação compreende os elevados custos que estão envolvidos, motivados pelo emprego de maquinário e ferramental que apresentam custos elevados de aquisição e em função da necessidade de mão de obra altamente qualificada, tanto na programação quanto na operação das máquinas modernas de comando numérico. Tais custos elevados referentes a este processo de usinagem se tornam ainda mais relevantes se estiverem associados ao fato de que a usinagem consiste em um dos processos de fabricação mais utilizados mundialmente (Trent; Wright, 2000; Pimentel, 2014).

Assim sendo, a escolha de uma broca para realizar a usinagem de um furo qualquer é realizada conforme as características da operação de furação. Dentre as principais especificações técnicas que devem ser verificadas estão: a dureza do material da peça e a sua usinabilidade; o furo passante/cego; o comprimento do furo; as tolerâncias de forma; a posição do furo ou o diâmetro; o acabamento da superfície; o modelo do maquinário; o tipo da refrigeração que está disponível; o volume de produção; a profundidade do furo e; também, devem ser considerados os seguintes detalhes específicos: o rebaixo, a rosca, o chanfro, o raio, dentre outros (Halevi; Weill, 1995; Pimentel, 2014).

## 2.2 DESGASTES DE FERRAMENTAS DE CORTE

A Norma ISO 3685:2017<sup>1</sup> definiu que o desgaste em ferramentas compreende a “[...] mudança de sua forma original durante o corte, resultante da perda gradual de material” (ABNT, 2017; Machado *et al.*, 2015, p. 263).

No entendimento de Farias (2017, p. 34), o termo desgaste na tribologia consiste na “[...] perda progressiva de material da superfície de um corpo sólido, devido à ação mecânica, ou seja, ao contato e movimento relativo contra um corpo sólido, líquido ou gasoso”. Ainda conforme a autora, os critérios de classificação do desgaste são:

- a) as condições que envolvem a situação de desgaste: variáveis operacionais;
- b) os mecanismos físicos de remoção de material: mecanismos causadores do dano;
- c) a aparência das superfícies desgastadas: ou da trilha de desgaste (Farias, 2017).

Por sua vez, os desgastes que ocorrem nas ferramentas de corte são resultantes das interações físicas e químicas entre a ferramenta e a peça, sendo que porções do material da ferramenta são removidas (Ertunc; Loparo; Ocak, 2001). Esses desgastes são determinantes para mensurar a sua eficiência. Desse modo, uma broca com boa durabilidade representa menos trocas e mais peças usinadas, conseqüentemente, maior será a rentabilidade à empresa e menos tempo perdido com o centro de usinagem parado.

O desgaste em ferramentas de corte passa por alguns estágios. Primeiramente, o desgaste é considerado rápido, em função da adequação ao sistema tribológico<sup>2</sup> envolvido, seguido pelo período de desgaste constante e, por último, pela aceleração do desgaste, promovendo em um curto espaço de tempo, altos níveis de temperatura e de tensões que eventualmente levam a ferramenta ao colapso (Machado *et al.*, 2015).

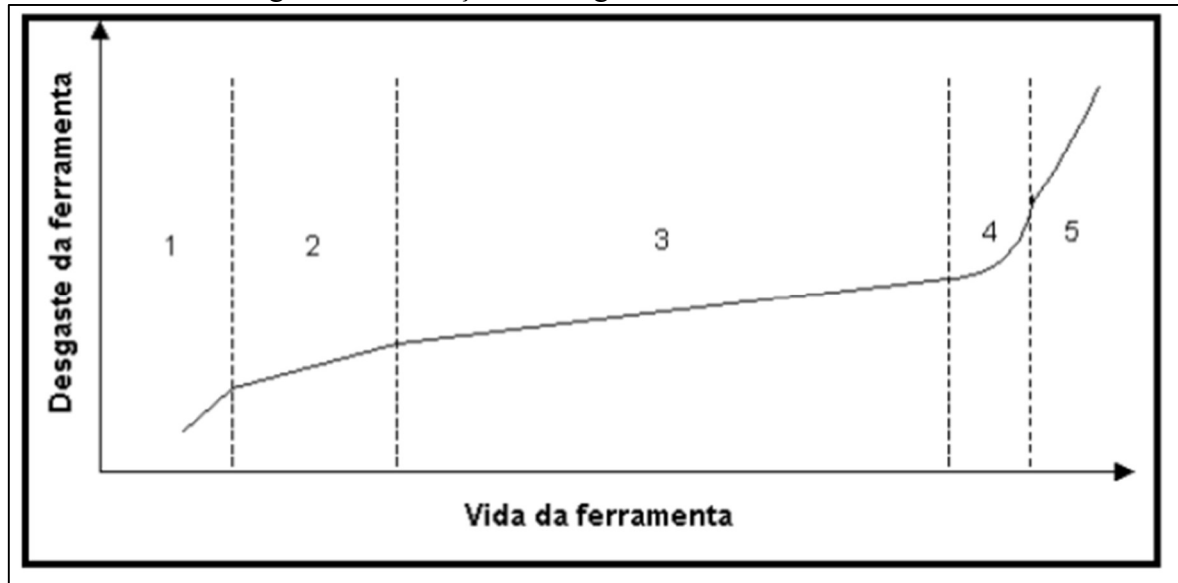
No caso das brocas helicoidais, o desgaste é tido como um fenômeno progressivo e comparativamente lento enquanto a avaria e a quebra da aresta principal de corte são, geralmente, catastróficas e repentinas (Ertunc; Loparo; Ocak, 2001).

A Figura 4 ilustra a típica evolução de desgaste em uma broca helicoidal em relação à vida útil da ferramenta.

<sup>1</sup> NBR ISO 3685 de 11/2017: “[...] especifica procedimentos recomendados para ensaios de vida da ferramenta de ponta única em aço rápido, metal duro e cerâmica para torneamento, utilizadas para usinar aço e ferro fundido. Pode ser aplicada em ensaios laboratoriais bem como em práticas de produção” (Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2017).

<sup>2</sup> “Tribologia é a ciência e tecnologia das superfícies que interagem entre si mediante um movimento relativo, e abrange o estudo de atrito, desgaste e lubrificação” (Farias, 2017, p. 4). “De forma simplificada, um Sistema Tribológico ou Tribossistema consiste de todos aqueles elementos que podem afetar o comportamento tribológico. –É constituído por dois corpos que interagem entre si (chamados de corpo e contracorpo), a interface entre estes os dois corpos (lubrificante, óxido, etc.) e o ambiente” (Farias, 2017, p. 15).

Figura 4 – Evolução do desgaste em brocas helicoidais



Fonte: Carvalho (2019, p. 9) adaptado de Ertunc, Loparo e Ocak (2001).

Nota: (1) desgaste inicial, (2) desgaste leve – regular, (3) desgaste moderado por microlascamentos, (4) desgaste severo e (5) colapso.

Conforme explicam Stoeterau (2011) e Jasinevicius (2016), a vida útil da ferramenta no processo de furação compreende a perda do controle sobre os cavacos ou a iminência de uma quebra rápida, cujos fatores considerados são: a textura superficial; as exatidões dimensional e geométrica; o estado da ferramenta; a formação do cavaco; a vida restante da ferramenta; o tempo de máquina; o tempo efetivo de corte; o volume de metal removido; a quantidade de peças usinadas; o comprimento usinado equivalente; dentre outros.

Acrescenta-se que, durante o processo de corte, ocorrem os processos de deformação, separação e atrito na área da aresta de corte. Os materiais das ferramentas de corte utilizadas estão sujeitos a um conjunto de cargas extremamente complexo, caracterizado por elevadas tensões compressivas, altas velocidades de corte e elevadas temperaturas (Machado *et al.*, 2015).

Com os parâmetros de corte comuns na prática, as ferramentas de corte atingem o fim de sua vida útil devido ao desgaste continuamente crescente tanto nas faces de cunha quanto nas faces de flanco. Isso é explicado como a perda progressiva de material da superfície de um corpo sólido, causada por causas mecânicas, ou seja, contato e movimento relativo de um corpo sólido, líquido ou gasoso (Ertunc; Loparo; Ocak, 2001; Machado *et al.*, 2015).

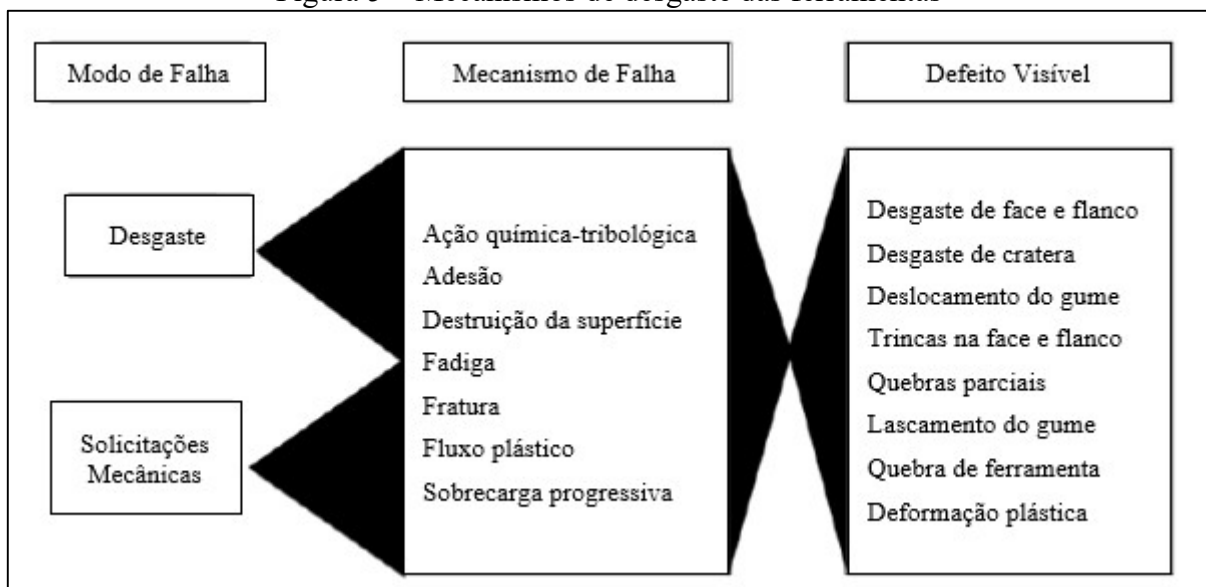
Para entender melhor como esse desgaste ocorre nas ferramentas de corte, a literatura divide as classificações de desgaste em mecanismos e tipos de desgastes, os quais estão detalhados nos próximos itens.

### 2.2.1 Mecanismos de desgastes

Os desgastes na ferramenta de corte compreendem uma das causas de paradas indesejadas de máquina no setor industrial bem como a troca de ferramenta. Tais desgastes podem ser minimizados quando se altera os parâmetros de usinagem, diminuindo assim a sua ocorrência (Castillo, 2005).

As solicitações mecânicas, térmicas e tribológicas que são decorrentes dos processos de usinagem levam aos desgastes e às sobrecargas mecânicas e térmicas dos gumes de ferramentas de corte, que também podem resultar em sinais típicos de desgastes tais como: os desgastes de cratera, de flanco, de lascamentos de diversas dimensões ou deformações plásticas (Castillo, 2005). Os diversos mecanismos de desgaste agem simultaneamente, de forma que tanto a sua causa como o seu defeito dificilmente podem ser distinguidos entre si, resultando em uma complexa interação de vários fatores de desgaste (König; Klocke, 1997). Na Figura 5 estão detalhados os mecanismos de desgaste das ferramentas.

Figura 5 – Mecanismos de desgaste das ferramentas



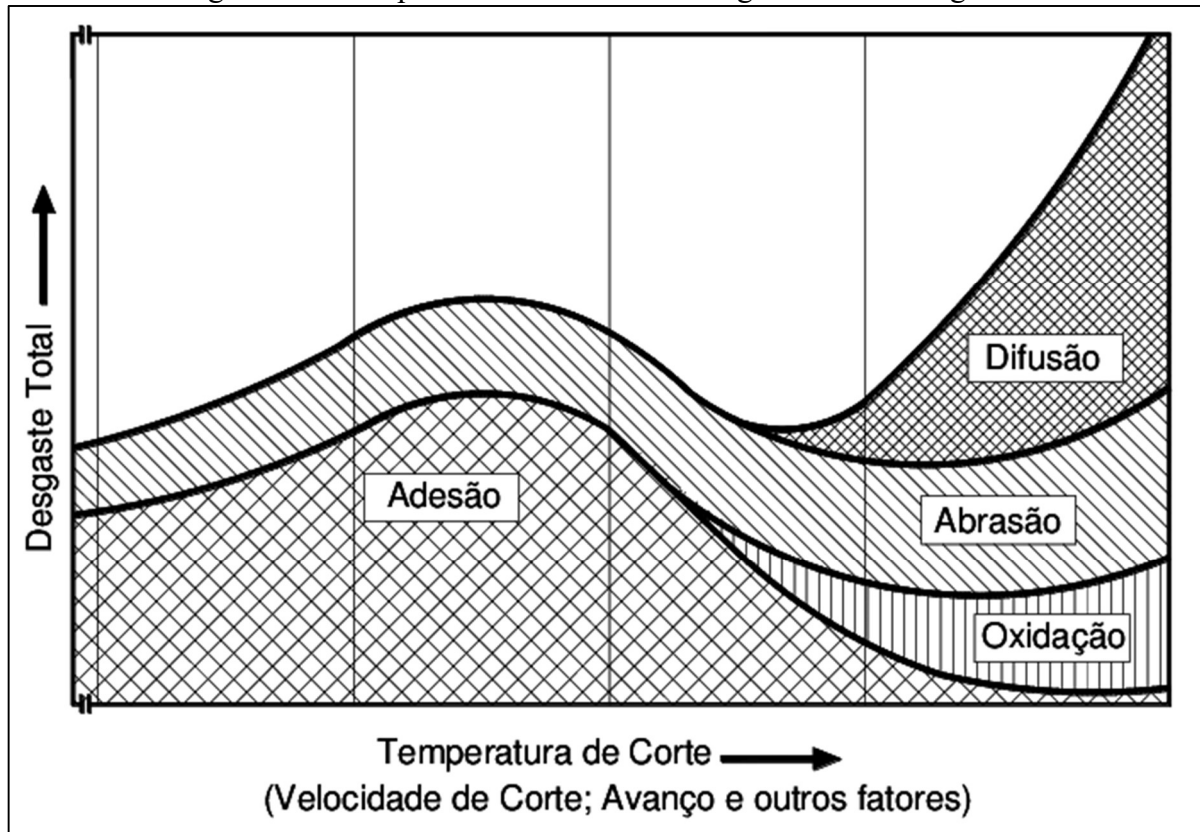
Fonte: König, e Klocke (1997).

Blödorn (2014) ressalta que em condições normais de usinagem todas as ferramentas mostram algum desgaste, como exemplos, os desgastes de flanco, de cratera e outros, como identificados na Figura 5, sendo que as formas desses desgastes acontecem em função dos diversos mecanismos de desgaste.



Machado *et al.* (2015) e Valim (2018) complementam que todas as formas de desgaste acontecem em função de diversos mecanismos de desgaste, tais mecanismos são demonstrados na Figura 6 de forma generalizada, considerada em função da temperatura de corte, cujo parâmetro é influenciado por alguns fatores tais como a velocidade de corte e a velocidade de avanço.

Figura 6 – Principais mecanismos e causas geradores de desgastes



Fonte: Machado *et al.* (2015, p. 282).

A Figura 6 mostra os quatro tipos de mecanismos de desgastes, sendo eles: a adesão, a abrasão, a oxidação e a difusão. É possível verificar que, por um lado, quanto maior for a temperatura de corte, maior será o desgaste total da ferramenta. Por outro lado, em temperaturas menores, somente os mecanismos de adesão e abrasão estão presentes, e a adesão é o mecanismo predominante. Por outro lado, em altas temperaturas, a adesão diminui enquanto os mecanismos de oxidação e difusão surgem e evoluem à medida que a temperatura aumenta, e a difusão cresce de forma exponencial, como explica Machado *et al.*, 2015; Valim, 2018).

Para compreender melhor cada mecanismo de desgaste, identificados na Figura 6, na sequência são explicados de modo individual, cada um desses mecanismos de desgaste, conforme entendimento de Carvalho (2019) e Marques (2012).

A abrasão mecânica compreende uma das principais causas de desgaste das ferramentas e segundo Carvalho (2019, p. 7), “Tanto o desgaste de flanco quanto o desgaste de cratera pode ser gerado pela abrasão”. Porém, cabe salientar que a abrasão mecânica se faz mais presente no desgaste de flanco, pois a superfície de folga atrita com um elemento rígido (a peça), enquanto a face atrita com um elemento flexível (o cavaco) (Carvalho, 2019; Marques, 2012).

O desgaste que é gerado pela abrasão, segundo Marques (2012), intensifica-se pela presença das partículas duras no material da peça (as inclusões) e, também, pela temperatura de corte que diminui a dureza da ferramenta. Logo, partículas da ferramenta são arrancadas a elevadas pressão e temperatura, devido ao atrito entre a ferramenta e a peça. “Assim, quanto maior a dureza a quente da ferramenta, maior será sua resistência ao desgaste por abrasão” (Carvalho, 2019, p. 7).

Trent e Wringht (2000) ressaltam que, o desgaste por abrasão mecânica é o principal responsável pelo atrito durante o corte por cisalhamento do material, provocando a vibração, que em seguida originará a falha catastrófica das ferramentas.

Na adesão ou também denominada de aderência, quando duas superfícies metálicas forem postas em contato sob cargas moderadas, sob baixas temperaturas e sob baixa velocidade de corte, será formada entre elas um extrato metálico que causa a aderência. Assim, a resistência de tal extrato é considerada elevada a tal ponto que, na tentativa de separar as duas superfícies, ocorrerá uma ruptura em um dos metais e não na superfície de contato (Marques, 2012; Carvalho, 2019).

Desse modo, as partículas da superfície de um metal migrarão para a superfície de outro. Esse fenômeno da aderência se faz presente na formação de gume posição de corte, entretanto pode-se ter o desgaste por aderência mesmo sem a formação deste. Esse fenômeno também é fundamental na formação do desgaste de entalhe. Acrescenta-se a isso que, o uso de revestimento da ferramenta com os materiais de baixo coeficiente de atrito, como por exemplo o nitreto de titânio, apresentam elevada influência na redução desse tipo de desgaste (Marques, 2012; Carvalho, 2019).

Já, a difusão entre a ferramenta e o cavaco consiste em um fenômeno microscópico que é ativado pela temperatura na zona de corte. Acrescenta-se que, a difusão no estado sólido incide na transferência de átomos de um metal a outro, dependendo da temperatura, bem como da duração do contato e da afinidade físico-química dos dois metais que estão envolvidos na zona de cisalhamento. Além disso, a difusão é responsável, principalmente pelo desgaste de cratera em elevadas velocidades de corte (Carvalho, 2019; Marques, 2012).

Por sua vez, a exposição às elevadas temperaturas e a presença de ar e água que está contida nos fluidos de corte, gera a oxidação para a maioria dos metais. Neste sentido, o desgaste que é gerado pela oxidação se forma notadamente nas extremidades de contato entre o cavaco e a ferramenta, devido ao acesso do ar nesta região, sendo esta uma das razões para o aparecimento do desgaste de entalhe (Carvalho, 2019; Marques, 2012). No próximo item são descritos os tipos de desgastes nas ferramentas de corte.

### 2.2.2 Tipos de desgastes

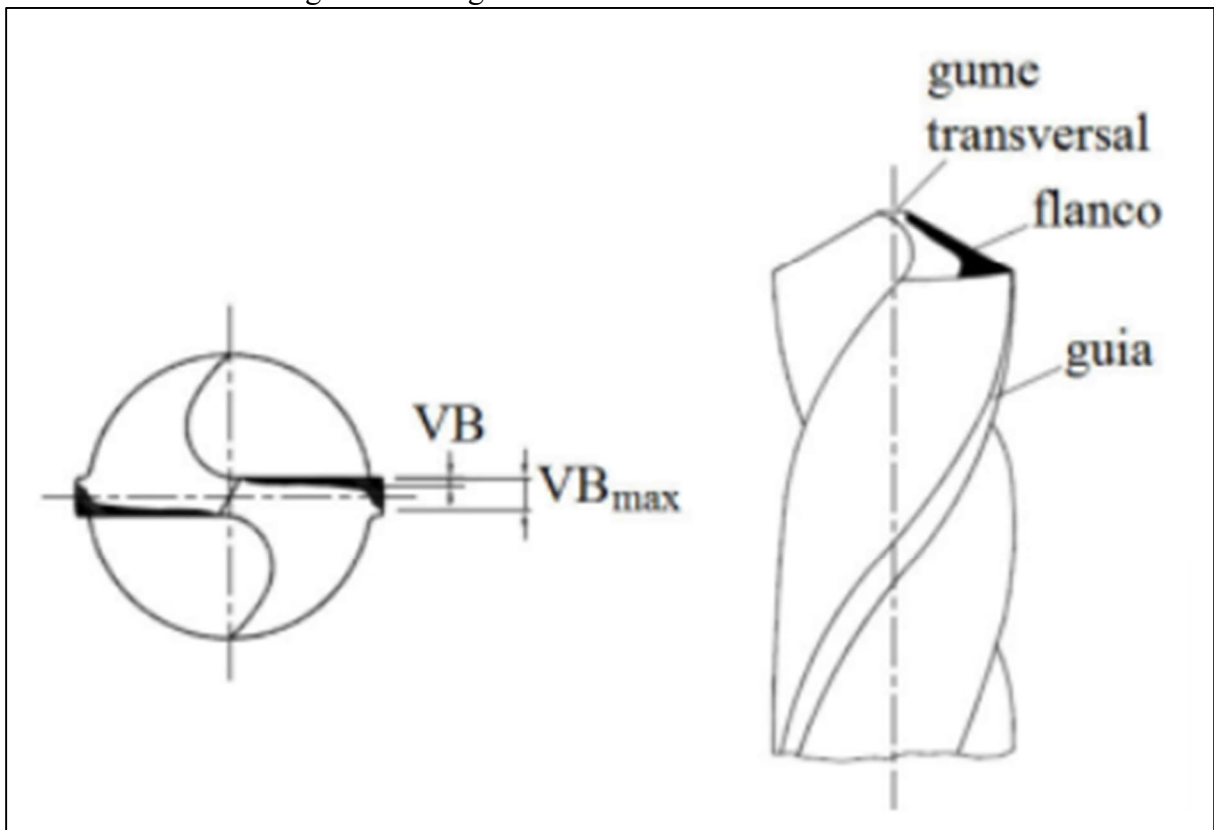
Os fenômenos de desgastes gerados durante o corte variam consideravelmente dependendo do tipo e da duração do estresse. A parte de corte é desgastada na face de cunha (desgaste de cratera) e, também, nas faces de flanco maior e menor (desgaste de flanco). Dependendo dos parâmetros de corte e da combinação de peça e do material da ferramenta, o desgaste de flanco tende a ser mais forte na borda da zona de contato da broca. Também denominado desgaste de entalhe, ele é provocado pelas transições abruptas de estresse mecânico e térmico, predominantes na extremidade da área de contato, pelo caráter abrasivo da borda afiada do cavaco, bem como pelo contato direto com a atmosfera (König; Klocke, 2002; Carvalho, 2019).

De acordo com Bork (1995), os tipos de desgastes em brocas helicoidais são classificados conforme detalhado na sequência:

- a) desgaste de flanco (VB): acontece ao longo de sua aresta de corte, e pode ser classificado também em desgaste de flanco médio ( $VB_{med}$ ) e em desgaste de flanco máximo ( $VB_{max}$ ) (Carvalho, 2019);

Como explica Carvalho (2019), o desgaste de flanco, representado na Figura 7, na maioria das vezes, é considerado o principal fator que limita a vida útil das ferramentas de corte, sendo decorrente da perda do ângulo de folga da ferramenta, o que provoca o aumento da área de contato entre a superfície de folga e o material da peça, ocasionando maior atrito naquela região. Todo o processo de usinagem promove o desgaste de flanco, e, também, provoca a deterioração do acabamento superficial e a perda dos atributos dimensionais da peça (Santos; Sales, 2008). Na Figura 7 está representado o desgaste de flanco das brocas helicoidais.

Figura 7 – Desgaste de flanco de brocas helicoidais



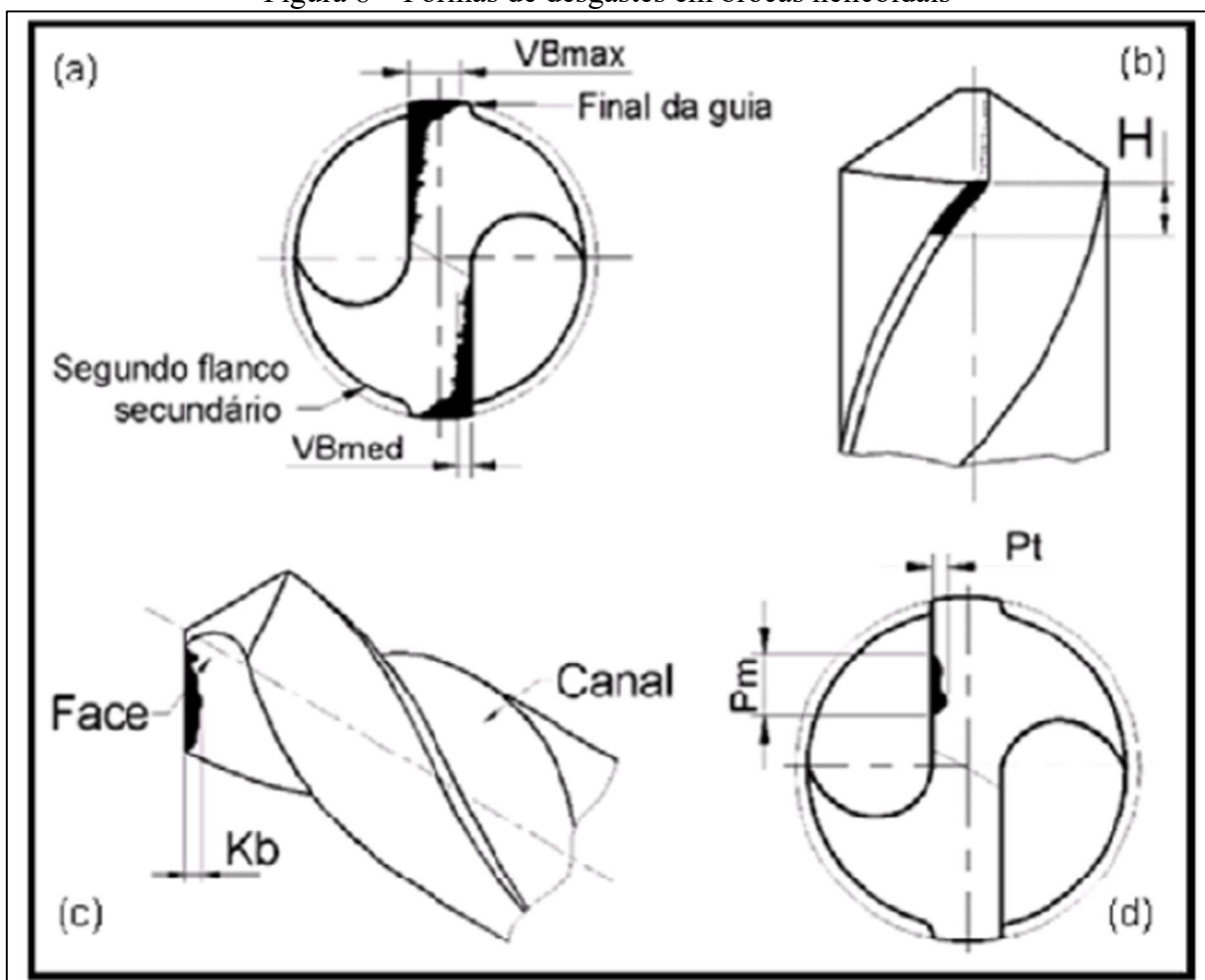
Fonte: Santos (1999).

- b) desgaste das guias (H): “[...] o comprimento médio “H”, medido sobre todas as guias da ferramenta em relação à sua aresta de corte” (Carvalho, 2019, p. 9);
- c) desgaste de cratera (Kb): “[...] corresponde à dimensão “Kb”, a qual é a medida do ponto mais afastado do lado oposto da cratera em relação à aresta de corte” (Carvalho, 2019, p. 9);
- d) lascamento: “[...] os lascamentos nas arestas principais de corte da broca (medidas “Pm” para a largura e “Pt” para a profundidade), os quais também podem ocorrer na aresta transversal” (Carvalho, 2019, p. 9);
- e) arredondamento das quinas: “[...] este tipo de desgaste se caracteriza pelo arredondamento da quina da broca, abrangendo ou não toda a largura da guia”. O autor acrescenta que “Sua medida também corresponde ao valor médio do arredondamento de todas as quinas da ferramenta” (Carvalho, 2019, p. 9);
- f) desgaste da aresta transversal-dimensionado: “[...] através das medidas “Cm” (largura da faixa de desgaste) e “Ct” (ponto mais alto do desgaste)” (Carvalho, 2019, p. 9);

g) colapso total: é compreendido como sendo puramente a destruição da broca helicoidal segundo Andrade (2005). “Esta definição também considera a inutilização da broca por danos que não necessariamente venham a destruí-la” (Carvalho, 2019, p. 9).

Na Figura 8 estão ilustrados os principais tipos de desgastes em brocas helicoidais, conforme indicação de Bork (1995) dentre eles: o desgaste de flanco; o desgaste nas guias; o desgaste de cratera e o lascamento.

Figura 8 – Formas de desgastes em brocas helicoidais



Fonte: Bork (1995).

Nota: (a) desgaste de flanco; (b) desgaste nas guias; (c) desgaste de cratera e (d) lascamento.

### 2.2.3 Desgastes de ferramentas de metal duro

Para relacionar a vida útil de uma ferramenta e as variáveis da peça em aço carbono<sup>3</sup>, Stemmer (2005) explica que pode-se atribuir o desgaste da ferramenta a pelo menos duas causas: os pontos duros presentes na microestrutura do metal usinado e; o aumento da dureza da peça em virtude do encruamento decorrente do próprio processo.

A maioria dos metais contém partículas insolúveis, que são denominadas inclusões, que, se forem muito duras, ocasionam o desgaste prematuro na ferramenta, a exemplo dos óxidos de alumínio, também empregados em revestimentos de brocas devido à dureza. Há também uma tendência nítida de uma maior dureza do material resultar em um maior desgaste da broca helicoidal (Stemmer, 2005).

Os mecanismos de desgaste mais comuns na furação de corte com a ferramenta de metal duro compreendem os desgastes de flanco e os lascamentos, já definidos anteriormente. Devido às grandes temperaturas de corte, à formação do cavaco e até mesmo à vibração mecânica da máquina, o atrito gerado entre a máquina e a ferramenta é decisivo para a eficiência e a vida útil da ferramenta (König; Klocke, 2002).

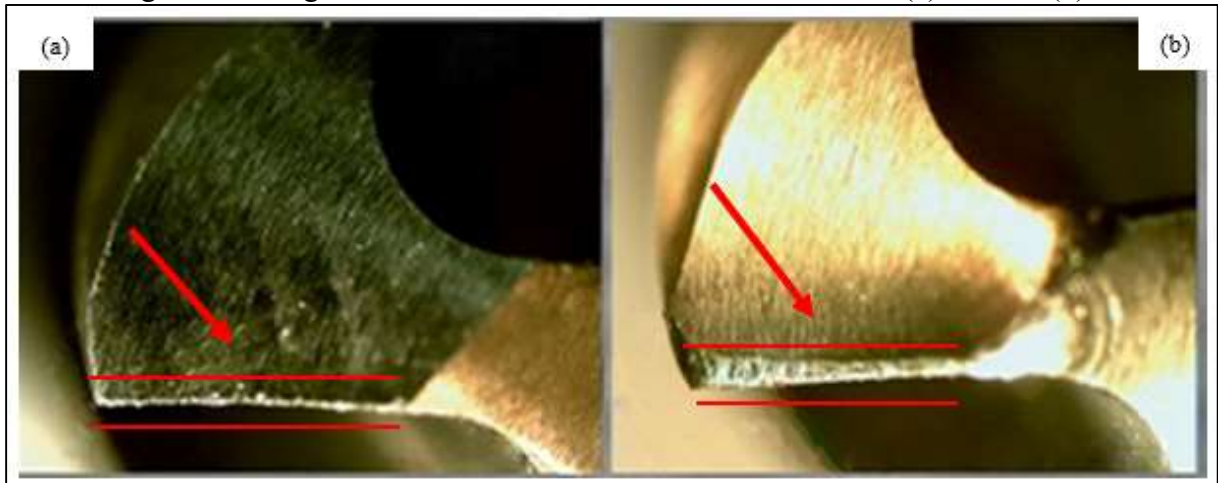
Para exemplificar o desgaste de ferramentas de metal duro é descrito o estudo desenvolvido por Sonda e Zeilmann (2009) que objetivou analisar o comportamento de desgaste em brocas helicoidais inteiriças de metal-duro revestidas de TiAlN, utilizada na usinagem do aço endurecido AISI P20 com dureza entre 36 e 38 HRc.

Os resultados do estudo dos autores identificaram que o desgaste típico encontrado nas brocas helicoidais de metal duro foi o desgaste de flanco, como ilustrado nas imagens demonstradas na Figura 9.

---

<sup>3</sup> O aço compreende uma liga de ferro carbono, podendo conter em sua composição outros elementos de liga acrescentados intencionalmente ou não, de maneira a modificar as suas propriedades físicas e químicas. Como explica Mirim (2011) de maneira geral, para os aços carbono admite-se um teor de até 2% de carbono (diagrama ferro-carbono), sendo comercialmente encontrados com até 1%.

Figura 9 – Desgaste de flanco de uma broca helicoidal “nova (a) e usada (b)”



Fonte: Sonda e Zeilmann (2009, p. 1).

Observa-se na primeira imagem da Figura 9, a ferramenta de metal duro (broca helicoidal) ‘nova’ representada pela letra (a) e; na segunda imagem, identificada na letra (b), está representada a mesma ferramenta depois de ser utilizada do processo de furação do aço endurecido AISI P20<sup>4</sup>, indicando com a seta em vermelho o desgaste de flanco.

Vale ressaltar que qualquer revestimento apresentará o tipo de desgaste no gume principal, conforme mostrado na Figura 9. Este tipo de desgaste poderia ser utilizado como um dos critérios de fim de vida útil das brocas helicoidais revestidas como indica Favaro (2006). Ainda se tratando dos tipos de desgastes de ferramentas de metal duro, estes se dão também na forma de pequenos lascamentos no gume principal da broca helicoidal. A partir do lascamento, o desgaste de flanco aumenta bruscamente, o que reduz a vida útil da broca helicoidal, conforme esclarecem Sonda e Zeilmann (2009).

Na Tabela 1 constam as análises microscópicas dos desgastes referentes ao estudo de Sonda e Zeilmann (2009), indicando o número de furos e os consequentes desgastes obtidos.

Tabela 1 – Dados dos desgastes das brocas helicoidais

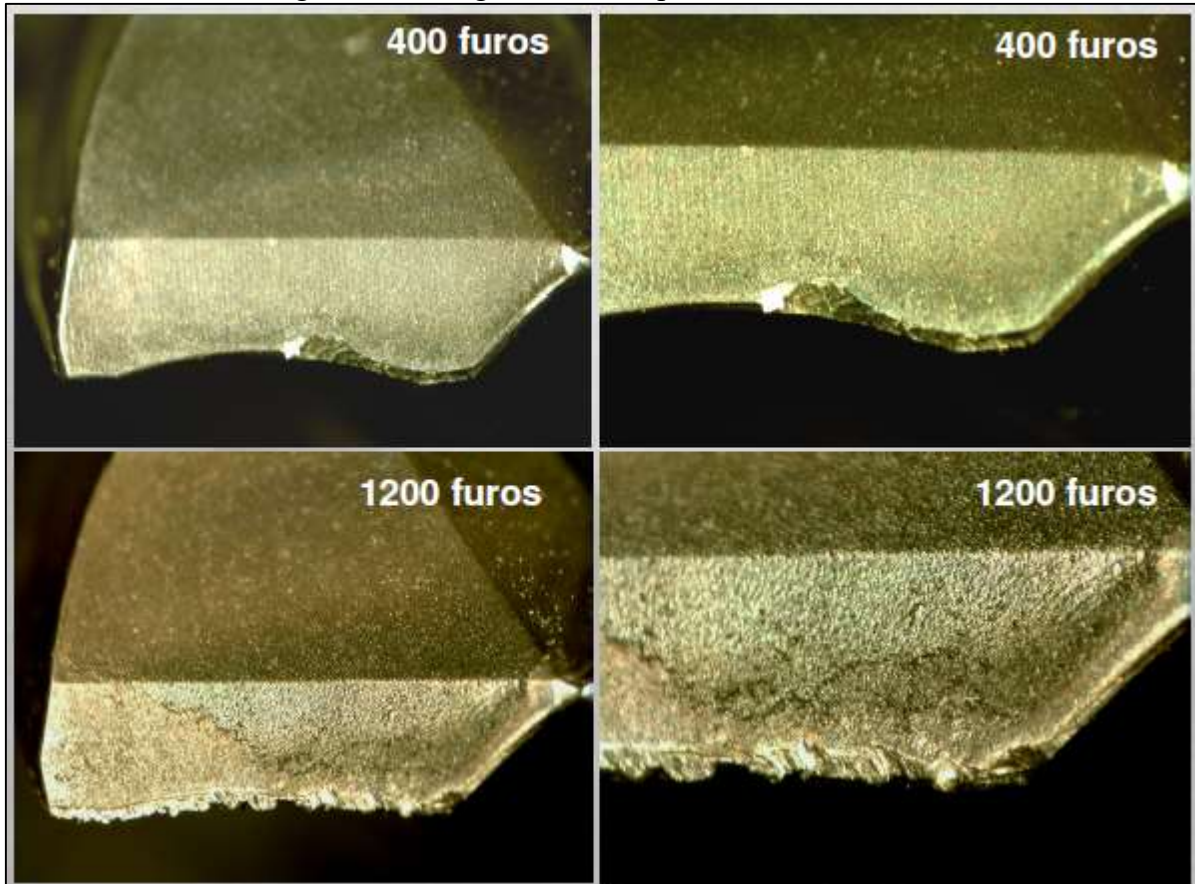
Número de Furos	Observação	VB <sub>max</sub>	
		Gume 1	Gume 2
1.200	Critério número de furos	0,15 mm	0,05 mm
1.000	Lascamento	0,12 mm	0,30 mm
600	Lascamento	0,20 mm	0,18 mm

Fonte: Sonda e Zeilmann (2009, p. 1)

<sup>4</sup> Norma *American Iron and Steel Institute* (AISI). Aço P20 compreende um aço ferramenta de baixa liga, com boa usinabilidade e fornecido na condição beneficiado (Sonda; Zeilmann, 2009).

A Figura 10 ilustra, considerando-se as análises de escalas microscópicas detalhadas na Tabela 1, os desgastes de lascamento que ocorreram na ferramenta de metal duro, no caso, da broca helicoidal, após o processo de usinagem do aço AISI P20, entre 400 a 1.200 furos.

Figura 10 – Imagens microscópicas das ferramentas



Fonte: Sonda e Zeilmann (2009, p. 1).

### 2.3 CARACTERÍSTICAS DAS BROCAS DE METAL DURO

As brocas utilizadas para a usinagem são em sua maioria fabricadas de aço rápido ou de metal duro, porém, devido à dureza de alguns agentes, o aço rápido se torna menos eficiente, por isso, é mais frequente, para esse uso, o metal duro. Esse composto foi desenvolvido no ano de 1927 e é de fundamental importância dentro do campo de ferramentas de corte (Usinagem Brasil, 2023). Apesar do nome, segundo Fernandes (2004, p. 10), “[...] não se trata de metal algum, e sim de um produto metalúrgico composto de elementos duros prensados e sinterizados em uma matriz mediante um aglomerante ou metal base”. Castillo (2005, p. 45) acrescenta que o metal duro “[...] conjuga dureza à temperatura ambiente e a quente, resistência ao desgaste e tenacidade, combinação possível de se obter pela variação de sua composição”.



Ainda conforme Fernandes (2004), os elementos duros das ligas de metal duro mais simples compreendem o Carboneto de Tungstênio (WC) e o seu aglomerante é o Cobalto (Co). Para o autor, são as proporções entre ambos que constituem as propriedades do metal duro: “[...] mais carbeto de tungstênio resulta em um produto mais duro (resistente ao desgaste), e mais cobalto resulta em um produto mais tenaz (mais resistente a choques mecânicos)” (Fernandes, 2004, p. 10). Além disso, a sua temperatura de operação gira em torno de 1.000°C e, quando comparado com o Aço Rápido (HSS), a sua dureza e a vida útil são superiores (Fernandes, 2004).

O metal duro permite alcançar os maiores níveis de dureza, de resistência ao desgaste e de resistência a quente o que mantém a tenacidade em níveis perfeitamente admissíveis. Tal superioridade das brocas helicoidais de metal duro, quando comparadas às brocas de aço rápido implica em custos, pois são bem mais altos. Desse modo, para o uso econômico de brocas de metal duro é preciso utilizar as máquinas-ferramenta que tolerem a obtenção dos níveis de velocidade, de potência e de rigidez que são exigidas pelas ferramentas de metal duro (Souza; Mattes; Mognana, 2014). No entendimento de Jasinevicius (2016), as principais vantagens das ferramentas de metal duro estão listadas a seguir:

- a) homogeneidade, alta dureza, resistência à compressão e ao desgaste à quente;
- b) as velocidades de corte poderão ser até três vezes maiores se comparadas com as utilizadas nas ferramentas de aço rápido: até 250 m/min para o aço e ferro fundido e até 1.000 m/min para as ligas de alumínio;
- c) as aplicações de ferramentas de metal duro exigem equipamentos e máquinas com características de velocidade, potência, refrigeração e rigidez apropriadas;
- d) brocas poderão ser maciças (maior aceitação) ou com insertos intercambiáveis, com ou sem revestimento;
- e) brocas de metal duro com revestimento são empregadas para furos com profundidades de 10xD (máximo 30xD);
- f) a furação pode ser realizada sem pré-furo;
- g) não possuem aresta transversal: menores forças de avanço;
- h) grandes espaços para cavacos, grande remoção de cavacos;
- i) furos com maior exatidão gerando valores de tolerâncias IT7<sup>5</sup>, tornando desnecessária a operação de alargamento.

---

<sup>5</sup> “A tolerância IT7 é um grau de tolerância-padrão (IT) que corresponde a um nível de precisão específico para todas as dimensões nominais” (Jasinevicius, 2016, p. 40).

Para se obter os metais duros com as propriedades distintas, pode-se acrescentar ou modificar as proporções do ligante com os seguintes revestimentos: Carboneto de Titânio (TiC) que aumenta a resistência à craterização, enquanto o Carboneto de Tântalo (TaC) e o Carboneto de Nióbio (NbC) aumentam a tenacidade, devido ao refino do grão (Fernandes, 2004).

Os metais duros convencionais são subdivididos em grupos e classes, conforme a sua composição e as suas propriedades em conformidade com a Norma ISO 513:2013<sup>6</sup> (Zeilmann, 2022), como representado na Figura 11.

Figura 11 – Classificação de metais duros

Classe ISO	Aplicações na usinagem de:		
P10 P15 P20 P25 P30 P40	Aços comuns, aços ligados, aço fundido, aço inoxidável, ferro fundido maleável de cavacos longos	↑ ↓	↑ Maior dureza e resistência ao desgaste ↓ Maior velocidade, maior tenacidade e maior avanço
M10 M15 M20 M40	Aços, aço fundido, aço manganês, aço inoxidável austenítico, ferro fundido maleável	↑ ↓	
K10 K20 K30	Ferro fundido cinzento coquilhado maleável, aços temperados, metais não ferrosos, plástico e madeira	↑ ↓	

Fonte: Zeilmann (2022, p. 8).

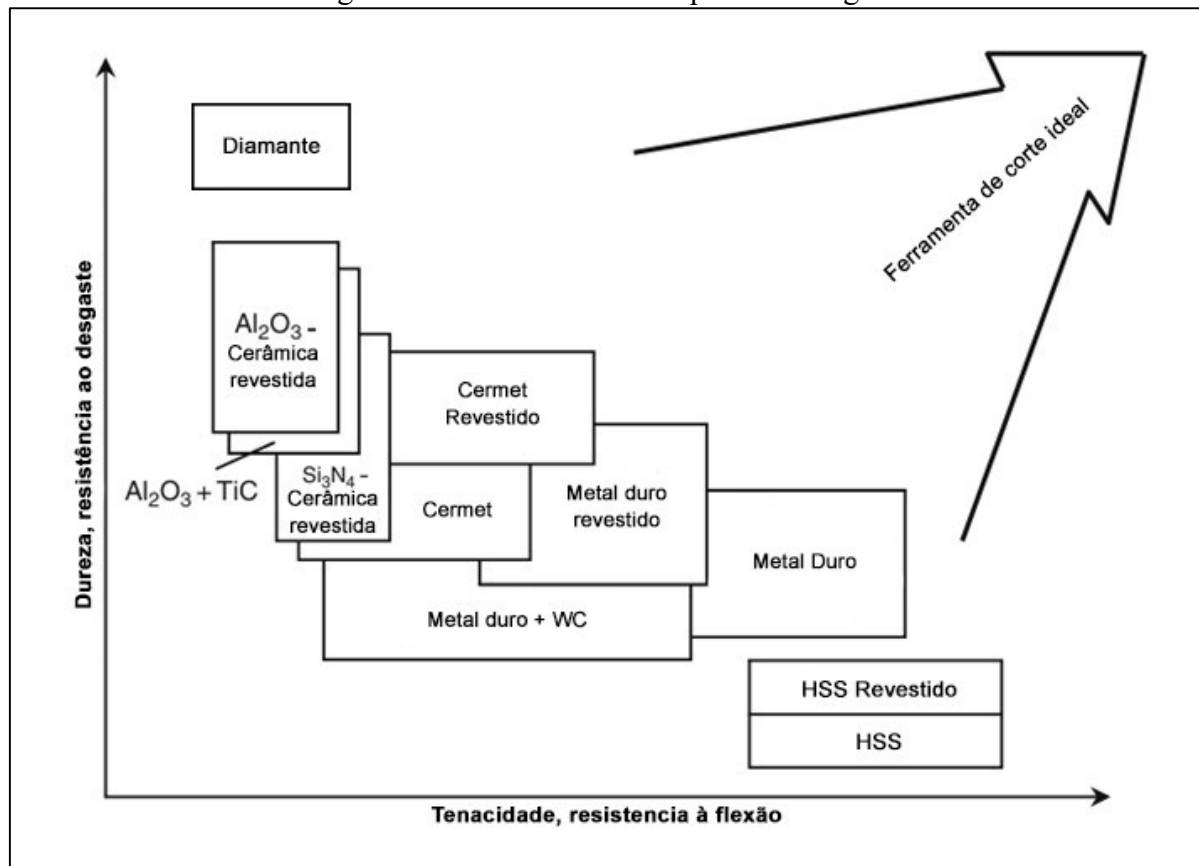
Como mostrado na Figura 11, quanto menor for o valor da graduação, significa que a classe será mais dura e resistente ao desgaste e, conseqüentemente, será mais recomendada para as condições favoráveis de usinagem, ou seja, a boa rigidez da máquina, a fixação eficiente da peça e da ferramenta, a regularidade e a uniformidade do material, a estabilidade do conjunto máquina, ferramenta e peça. Já, quando o valor for maior de graduação, a classe será mais tenaz e resistente aos choques mecânicos, ou seja, será a mais apontada para as condições que sejam desfavoráveis de usinagem (Zeilmann, 2022).

<sup>6</sup> ISO 513:2013: “Especifica a classificação e a aplicação de materiais duros para corte, incluindo metal duro (carbonetos), cerâmicos, diamante e nitreto de boro, para usinagem com remoção de cavacos, e define sua aplicação” (ABNT, 2013).

Como esclarece Fernandes (2004), toda a ferramenta de corte deverá essencialmente resistir aos esforços de corte e, também, ao calor que for gerado na região de contato entre a aresta de corte e a peça. Para o autor, “Todo material cortante apresenta diferentes propriedades físico-químicas” (Fernandes, 2004, p. 5). Neste sentido, as mais importantes são: a resistência ao desgaste, a tenacidade e a dureza a quente (Fernandes, 2004).

Acrescenta-se a isso, que, a ferramenta de corte considerada ideal é aquela que apresenta o prestígio em todas as áreas, porém, não é possível ter os três parâmetros em uma única broca helicoidal, desse modo, cabe a realização de estudos para descobrir qual a melhor opção tendo em vista o uso e a peça usinada. Na Figura 12 está representada graficamente a ferramenta ideal para a usinagem, considerando-se como base o estudo de Klocke (2011).

Figura 12 – Ferramenta ideal para a usinagem



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Klocke (2011, p. 96).

Observa-se na Figura 12 um comparativo gráfico entre vários tipos de materiais. Como por exemplo o aço rápido que se encontra em brocas para uso doméstico (furadeira residencial) e que apresentam tenacidade, mas não possui dureza, assim sendo não servem para furar um aço SAE 1010. Já, a ferramenta de metal duro sem revestimento se caracteriza com mais dureza,

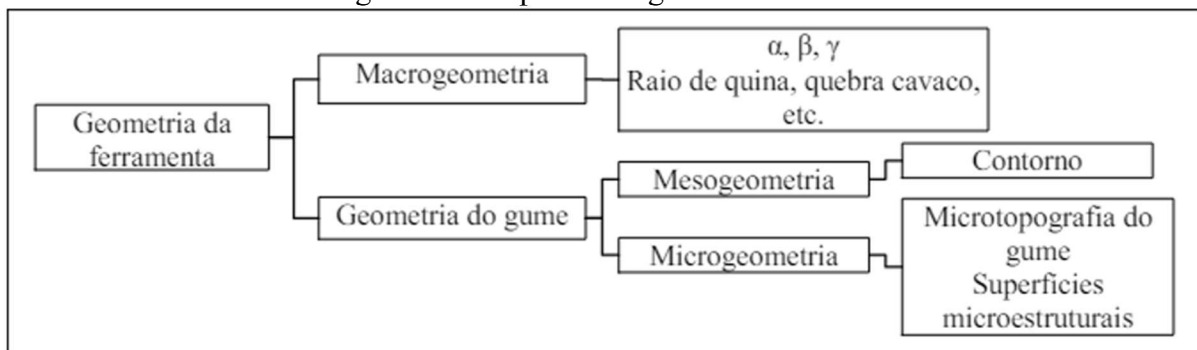
mas não apresenta a tenacidade que uma furadeira residencial apresenta. Por sua vez, a ferramenta de metal duro revestido, que se encontra ao centro da representação gráfica, apresenta um equilíbrio entre a tenacidade e a dureza, sendo considerada uma ferramenta de corte ideal para a furação, por exemplo, do aço SAE 1010, ênfase deste estudo.

## 2.4 GEOMETRIA DAS BROCAS

As brocas, como qualquer outra ferramenta de usinagem, apresentam o seu desempenho intensamente impactado por sua geometria, podendo acontecer situações que se faz necessária a realização de uma geometria específica para gerar uma determinada operação de furação (Paiva Junior, 2007).

A geometria de uma ferramenta de corte apresenta um efeito significativo nos parâmetros de entrada e de saída de um processo de usinagem (Sambhav; Tandon; Dhande, 2012). De acordo com Rodriguez (2009) e Rech (2006), a geometria de uma ferramenta de corte pode ser classificada em: macro, meso e microgeometria, como representando na Figura 13.

Figura 13 – Aspectos da geometria de corte



Fonte: Bordin (2013, p. 23) adaptado com base em Rodriguez (2009).

Como mostrado na Figura 13, a macrogeometria determina os ângulos de corte, os raios de quina, o quebra-cavacos e outras superfícies funcionais e, também, as características geométricas dos escoamentos do cavaco, da refrigeração e da lubrificação (Bordin, 2013). Por sua vez, na mesogeometria “[...] são considerados os contornos correspondentes à superfície convexa do gume gerada por processos de tratamento de gumes, em uma ordem de magnitude de 1 a 100  $\mu\text{m}$ ” (Bordin, 2013, p. 23). E, por fim, as microgeometrias “[...] incluem a microtopografia do gume e a microtopografia das superfícies (flanco e face) nas redondezas do gume, em magnitudes inferiores a 1  $\mu\text{m}$  (Bordin, 2013, p. 23).

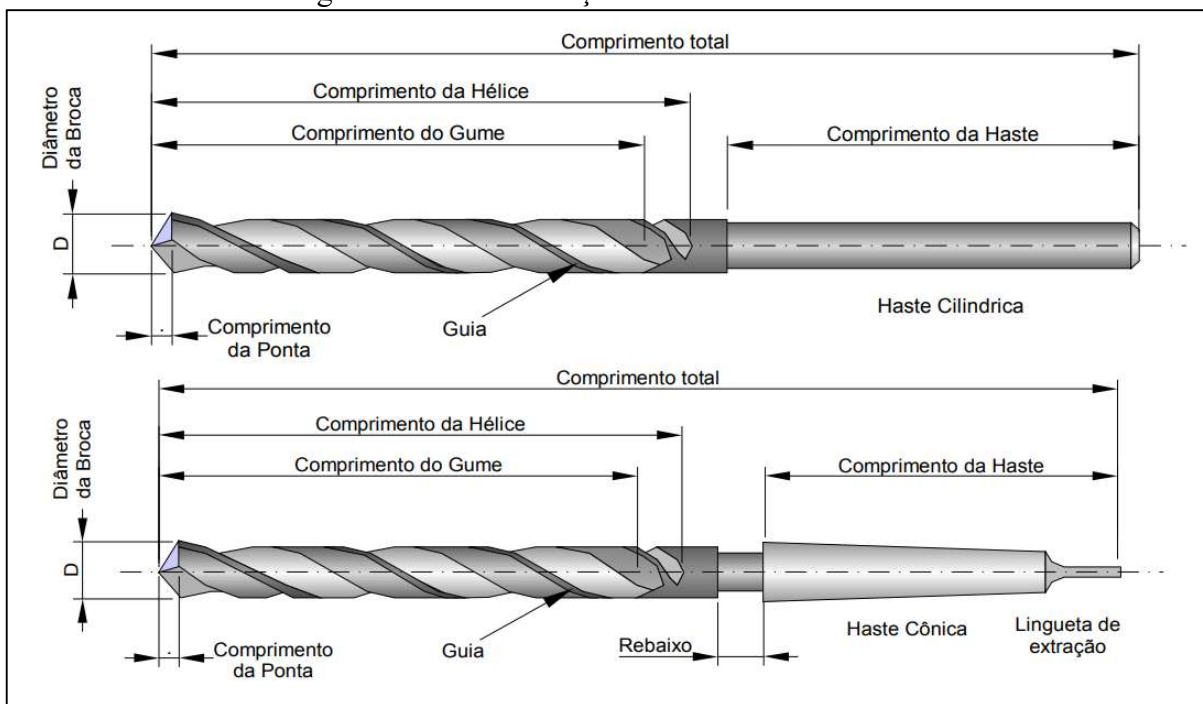
A meso e as microgeometrias, conforme Bordin (2013), “[...] foram por muito tempo, pouco consideradas pelos fabricantes de ferramentas”, em função da falta dos processos de manufatura para a obtenção das geometrias que fossem precisas, confiáveis e repetíveis (Bordin, 2013).

#### 2.4.1 Geometria das brocas helicoidais

De acordo com Almeida (2015, p. 111), as brocas helicoidais apresentam “[...] canais em forma de hélice, permitindo a retirada dos cavacos resultantes do furacão”. Para o autor “Em função do tipo de material, o ângulo de hélice e o ângulo da ponta variam para melhorar a eficiência da broca”.

As brocas helicoidais são as ferramentas mais utilizadas na execução de furos e apresentam, normalmente, dois gumes principais, que podem ser avaliados de maneira análoga a uma ferramenta simples de torneamento. Os dois gumes principais são ligados pelo gume transversal (Stemmer, 1993). No que se refere à macrogeometria, de modo simplificado, uma broca helicoidal é composta de uma haste e uma parte cortante, como ilustrado na Figura 14.

Figura 14 – Denominações em brocas helicoidais



Fonte: Stoeterau (2011, p. 54)

Ao consideraras denominações em brocas helicoidais, conforme Bordin (2013, p. 24), os gumes principais se apresentam “[...] no sentido do avanço, e o gume transversal torna-se

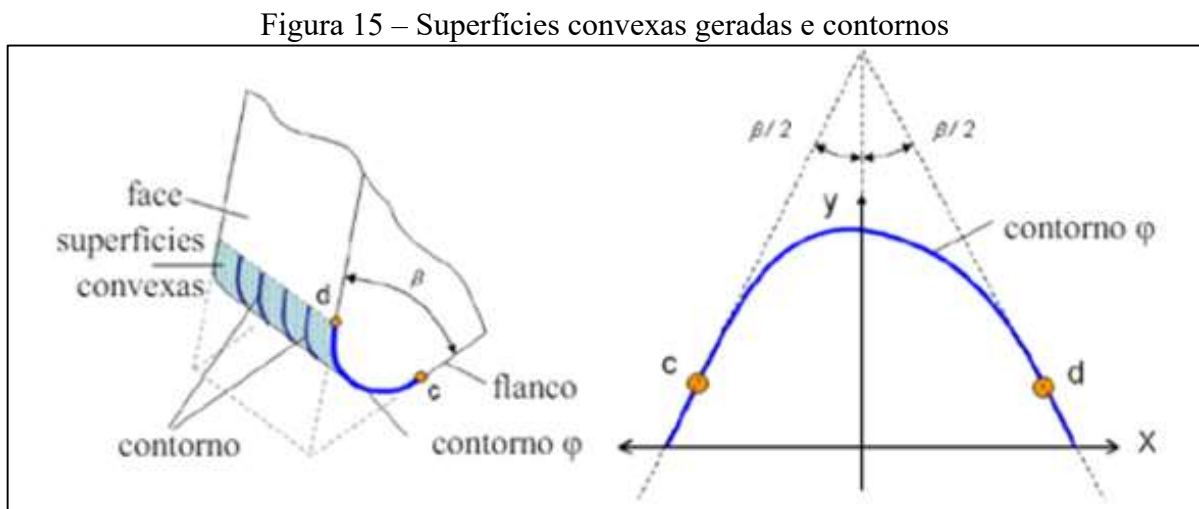
uma parte integrante do gume principal”. Apesar disso, “[...] em decorrência do ângulo de saída negativo nesta região, o gume transversal praticamente não apresenta um corte e sim deforma o material plasticamente e o extruda em direção do gume principal (Bordin, 2013; König; Klocke, 1997).

A forma e o ângulo de hélice da broca determinam o ângulo de saída  $\gamma$ , que por sua vez não é constante ao longo do gume principal e exibe o seu valor máximo na quina da broca e reduz no sentido de centro da broca, cujo resultado é negativo na passagem para o gume transversal (König; Klocke, 1997; Watson, 1985; Bordin, 2013). Outra peculiaridade é a de que o gume principal não passa pelo centro da ferramenta, assim sendo, a inclinação do gume até o raio oscila conforme o aumento do raio (Watson, 1985; Bordin, 2013).

A mesogeometria do gume é concebida pelos contornos nos quais delineiam a superfície convexa e, a geometria dos contornos é comumente representada como os arredondamentos do gume (Rodríguez, 2009; Bordin, 2013). A visualização de um típico contorno admite notar que em geral esse contorno não apresenta a forma de um arco circunferencial, e neste sentido, a descrição de arredondamento para referenciar-se ao raio foi empregada somente em termos nominais (Rodríguez, 2009; Bordin, 2013).

Acrescenta-se que, a mesogeometria do gume apresenta uma intensa influência na mecânica da formação dos cavacos, com enormes implicações na integridade das superfícies geradas (Yussefian *et al.*, 2010; Bordin, 2013).

A Figura 15 ilustra a representação dos contornos da ferramenta indicando as respectivas superfícies convexas geradas.



Fonte: Bordin (2013, p. 25) adaptado com base em Rodríguez (2009).

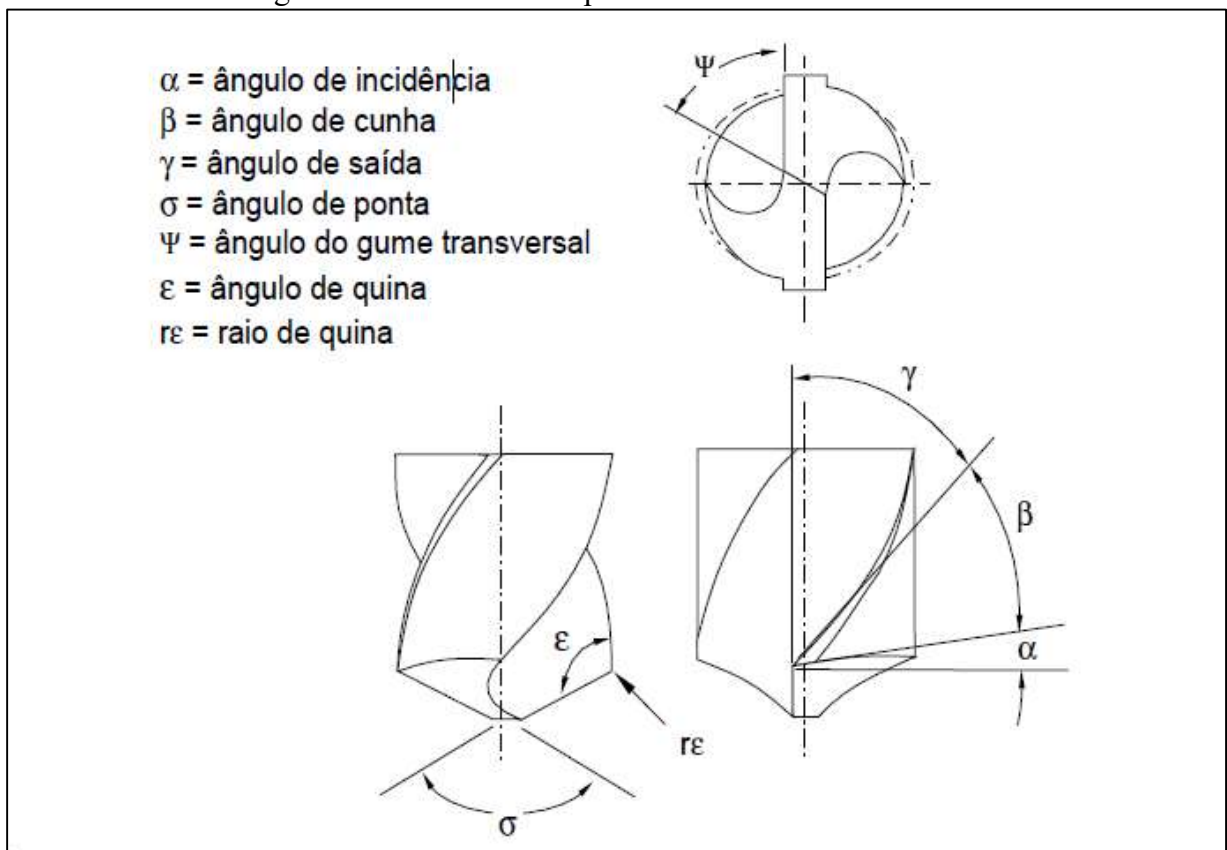
As brocas helicoidais, assim como qualquer ferramenta de usinagem, apresentam os seus desempenhos fortemente afetados por sua geometria. Além de características como o diâmetro e o comprimento, as brocas são determinadas por diversos ângulos (Stemmer, 1993).

Os principais ângulos das brocas helicoidais são comentados na sequência e, podem ser observados na Figura 16, que ilustra a geometria da ponta de uma broca helicoidal.

O ângulo de incidência ( $\alpha$ ) é obtido pelo rebaixamento do flanco principal e; usualmente oscila entre 12 e 15 graus, sendo que o aumento do ângulo de incidência evita o esmagamento de material pelo flanco da broca, diminuindo a força de avanço; por outro lado, reduz a resistência do gume (Stemmer, 1993).

Para Ferraresi (1970, p. 75), o ângulo de cunha ( $\beta$ ) compreende “[...] o ângulo entre a superfície de folga e a superfície de saída, medido no plano de medida da cunha cortante”. Para o autor, o ângulo de saída ( $\gamma$ ) é o ângulo entre a superfície de saída e o plano de referência, medido no plano de medida da cunha cortante” (Ferraresi, 1970, p. 76). O ângulo de ponta ( $\sigma$ ), conforme Marques (2012, p. 11), “[...] é o ângulo formado pelos dois gumes principais, no plano que contém o eixo principal da broca” (Marques, 2012, p. 11). O aumento ou a redução do ângulo de ponta pode gerar os gumes côncavos ou os convexos, respectivamente.

Figura 16 – Geometria da ponta de uma broca helicoidal



Para as ferramentas com os canais e os ângulos de hélice usuais, o ângulo de ponta de 118° gera os gumes retos. Os ângulos maiores do que 118° geram os gumes côncavos, cujas pontas podem apresentar a tendência de quebrar e; os ângulos menores do que 118° geram os gumes convexos, o que pode gerar vibrações durante o processo de usinagem (Stemmer, 1993).

O ângulo de hélice ( $\delta$ ) compreende o ângulo do helicóide dos canais da broca e, classificam-se em três tipos de brocas quanto ao ângulo de hélice: Tipo N (materiais usuais como o aço); tipo H (para materiais duros e frágeis); e tipo W (para materiais moles) (Stemmer, 1993). E o ângulo do gume transversal ( $\psi$ ) é considerado o menor ângulo que é formado entre os gumes principais e o gume transversal sendo determinado pelo ângulo de incidência (Stemmer, 1993; Marques, 2012).

Na Tabela 2 estão os tipos de ângulos para as brocas helicoidais, conforme o entendimento de Almeida (2015).

Tabela 2 – Tipos de ângulos para brocas helicoidais

Tipo da broca	Ângulo de Hélice	Ângulo da Ponta	Aplicação
Tipo H	10° a 15° graus	80°	Baquelite, latão, bronze e outros
Tipo N (normal)	20° a 30° graus	118° a 120°	Aços-carbono e aços-liga, ferro fundido, duralumínio.
Tipo W	35° a 40°	130°	Alumínio, zinco, cobre, madeira, plástico

Fonte: Almeida (2015, p. 111).

Para complementar a geometria das brocas helicoidais, na próxima seção são apresentados os revestimentos utilizados nas ferramentas de usinagem.

## 2.5 REVESTIMENTOS DE FERRAMENTAS DE METAL DURO

A utilização de revestimentos nas ferramentas de metal duro, como explica Bork (1995), normalmente, mostra resultados expressivos de redução de desgaste e no aumento de produtividade das ferramentas de usinagem. Inicialmente, os revestimentos, de elevada dureza, tendem a diminuir o desgaste abrasivo e aumentar a lubrificidade do movimento.

Entretanto, a sua ação é mais ampla: a redução do coeficiente de atrito entre o cavaco e a ferramenta revestida tende a diminuir o calor gerado no flanco e na face da ferramenta e, também, o fator de recalque do cavaco. Essa redução da geração de calor, aliada à baixa



condutividade térmica do revestimento, diminui a solitação térmica da ferramenta, aumentando seu rendimento e produtividade (Bork, 1995). Carvalho (2019, p. 12) complementa que, “Estes revestimentos devem servir também como isolantes térmicos entre o cavaco e a ferramenta, possuindo assim elevada dureza a quente”.

Nas operações onde são exigidas elevadas durezas e resistências aos desgastes, as brocas recebem, geralmente, os revestimentos de TiC, TiN, TiCN, TiAlN ou Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Carvalho, 2019). A aplicação dos revestimentos é realizada sobre a base de metal duro, de uma ou mais camadas finas de um material composto de carbonetos, nitretos, carbonitretos ou óxidos (Carvalho, 2019). Nos próximos itens é realizada uma abordagem sobre cada um dos principais revestimentos aplicados nas ferramentas de metal duro.

### **2.5.1 Revestimento de Carboneto de Titânio (TiC)**

No Carboneto de Titânio (TiC), a característica mais acentuada compreende a dureza mais elevada (3.000 HV), conferindo-lhe uma maior resistência ao desgaste por abrasão (Marques, 2012; Costa, 2016). Além disso, “[...] apresenta baixa tendência de soldagem com o material da peça, dificultando o desgaste por adesão e a formação de aresta postiça” (Zeilmann, 2022, p. 13) e; baixo coeficiente de dilatação térmica, que é uma característica relevante em processos, como por exemplo, na operação de furação (König; Klocke, 1997; Marques, 2012; Costa, 2016). Acrescenta-se que, a sua espessura de camada oscila entre 4 a 8µm e possui baixa estabilidade química como esclarecem König e Klocke (1997).

Klauberg (2009) sintetiza que o revestimento de TiC diminuí o coeficiente de atrito, refletindo na temperatura de usinagem, nas forças de corte e na tendência à adesão e apresenta menor coeficiente de expansão térmica se comparado ao revestimento de TiN, se mostrando vantajoso quando houver oscilações térmicas.

### **2.5.2 Revestimento de Nitreto de Titânio (TiN)**

O revestimento de Nitreto de Titânio (TiN) é considerado quimicamente mais estável quando comparado ao revestimento de TiC, ou seja, apresenta menor tendência de difusão em aços, no entanto, se apresenta mais susceptível ao desgaste abrasivo e a sua dureza é de 2.300 HV 0,05 (Marques, 2012; Costa, 2016).

Carvalho (2019, p. 25) acrescenta que “Os revestimentos de TiN são largamente empregados industrialmente para melhoria de propriedades mecânicas e vida de ferramentas de

corte, matrizes e componentes mecânicos”. No mesmo posicionamento Klauberg (2009, p. 33) afirma que o revestimento de TiN “Apresenta excelente aderência sobre o material do substrato, sendo o revestimento mais popularmente utilizado”.

Uma importante característica é que o TiN reduz o atrito entre o inserto e o cavaco, servindo assim como um lubrificante sólido (Zeilmann, 2022) e, o seu uso é recomendada para os materiais mais dúcteis, tais como os aços de baixo teor de carbono (aço SAE 1010) e o alumínio, sob baixas forças de corte (Bork, 1995; Costa, 2016) e a sua espessura oscila entre 5 a 7  $\mu\text{m}$  (König; Klocke, 1997).

### **2.5.3 Revestimento de Carbonitreto de Titânio (TiCN)**

O Carbonitreto de Titânio (TiCN), segundo Marques (2012, p. 29), “[...] é derivado do TiN, onde parte dos átomos de Nitrogênio (N) são substituídos por Carbono (C) durante a deposição” (Marques, 2012, p. 29).

O revestimento de TiCN, conforme Marques (2012), apresenta uma alta dureza (3.000 HV) sendo aplicado nas situações de forças de corte médias a baixas, e nos materiais tais como ferros fundidos e aços de médio carbono (Marques, 2012).

### **2.5.4 Revestimento de Nitreto de Titânio-Alumínio (TiAlN)**

O Nitreto de Titânio-Alumínio (TiAlN) é derivado do TiN, sendo que durante o processo de deposição, a parte dos átomos de Titânio (Ti) é substituída pelos átomos de Alumínio (Al) (Costa, 2016).

Assim sendo, os átomos de Al são retidos no material (revestimento) em forma de solução sólida, provocando o endurecimento e, o aumento de dureza (3.500 HV 0,05) propicia uma maior resistência ao desgaste. Além disso, a substituição dos átomos pode indicar, também, uma melhora de resistência à oxidação e à estabilidade química, dependendo da aplicação (Costa, 2016).

No entendimento de Carvalho (2019, p. 15), ao realizar um comparativo entre os revestimentos à base de titânio, “[...] a melhor isolamento térmica é dada pelo revestimento de TiAlN, que confere à ferramenta um relevante aumento na vida, tornando-a apta para a usinagem a seco e em alta velocidade de corte”. Para o autor, “O relativo bom desempenho do TiAlN em elevadas velocidades de deslizamento é explicada pela sua baixa taxa de oxidação em elevadas temperaturas” (Carvalho, 2019, p. 15).

### 2.5.5 Revestimento de Óxido de Alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

O Óxido de Alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) apresenta as seguintes características: ótima estabilidade térmica em temperaturas altas; elevada resistência aos desgastes por abrasão, o que reduz a formação do desgaste de cratera; possui alta resistência aos ataques químicos e oxidação e; baixa resistência aos choques térmicos e mecânicos (Marques, 2012; Costa, 2016; Zeilmann, 2022).

De acordo com Klauberg (2009), o revestimento de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se caracteriza com uma elevada dureza à quente, apresentando também estabilidade química e adequadas propriedades refratárias, sendo considerado muito frágil e de aderência restrita e, geralmente, é aplicado sobre uma camada de TiC.

### 2.5.6 Custo *versus* benefício dos revestimentos

A relação custo-benefício compreende um item relevante que deve ser levado em consideração no contexto industrial atual. Mesmo que alguns materiais novos já promovam uma vida útil de ferramenta superior e a produtividade tem se elevado, ainda existem materiais mais comuns que são utilizados nos processos fabris, os quais devem passar pela análise da relação custo *versus* benefício nas empresas industriais (Santos *et al.* 2019).

As indústrias que pertencem ao setor metalmeccânico têm apresentado evolução devido aos avanços de pesquisas e, também, em função do desenvolvimento de estudos direcionados ao segmento, os quais têm apresentado reflexos na redução dos custos e, também, no aumento da produtividade (Santos *et al.* 2019).

Como explica Santos *et al.* (2019), um dos avanços nas pesquisas realizadas no setor metalmeccânico foram os tipos de revestimentos (já detalhados anteriormente) que são aplicados nas diversas ferramentas de corte, as quais são utilizadas nos mais variados processos de usinagem existentes, com a finalidade basilar de elevar a vida útil da ferramenta, que por consequência reduz os custos e eleva a produtividade, devido aos possíveis aumentos das velocidades de corte, por exemplo.

Em função das ferramentas serem revestidas, reduzindo ou eliminando, a utilização de fluidos de corte, representa benefícios positivos e sob o ponto de vista ambiental evita o descarte de lançamento de efluentes líquidos ou de substâncias poluentes, que quando lançadas na natureza sem o tratamento devido, proporcionarão sérios danos ao ecossistema dos rios, dos lagos, dos córregos e dos oceanos (Santos *et al.* 2019).

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo é descrita a metodologia para o desenvolvimento do trabalho, abordando inicialmente a problemática. Na sequência são apresentados a proposta de intervenção e o produto; a definição do equipamento de usinagem utilizado; as condições de usinagem; as ferramentas selecionadas para a realização dos testes práticos; os custos envolvidos e; o fluxograma das etapas para desenvolver o estudo.

#### 3.1 PROBLEMÁTICA

Em um mundo tão competitivo, a indústria tende a enfatizar as compras quase que exclusivamente considerando o custo dos produtos e, privilegiando os fornecedores que oferecem as ferramentas mais baratas, no entanto, ao desenvolver as soluções baseadas em fundamentos técnicos, é possível mudar essa mentalidade. Assim, pode-se optar por ferramentas que apresentem custos mais elevados, mas que proporcionem melhores resultados em termos de produtividade e de qualidade do produto final.

Para este estudo, o problema está na compreensão dos desgastes que são gerados nas condições de operação antes mencionadas. Desse modo, um estudo aprofundado, baseado na literatura e aplicados os devidos ensaios, possibilitam testar as ferramentas e a buscar os menores níveis de desgastes sem abrir mão da qualidade do serviço, melhorando os resultados de vida útil da ferramenta.

#### 3.2 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO

O estudo dos desgastes de ferramentas de corte é fundamental para se entender o processo de furação e aplicar no meio fabril de modo eficiente. A partir da revisão bibliográfica, pôde-se obter os parâmetros iniciais consistentes para o emprego de testes práticos que venham a comprovar o que foi estudado.

Conforme previsto, foram analisadas as brocas helicoidais que são utilizadas atualmente pela Metalúrgica CNS em relação a duas brocas que foram adquiridas, a fim de comparar a eficiência das mesmas, tendo como base o referencial teórico apresentado neste estudo e verificar a relação do custo *versus* benefício à empresa. Nas próximas seções são apresentados o produto selecionado para compor o estudo e as ferramentas citadas de modo individual, retomando o conteúdo visto ao longo do trabalho.

### 3.3 PRODUTO

Para fins de análise comparativa, foi escolhido o produto que apresenta maior volume de fabricação dentro do setor fabril da CNS e, também, o que apresenta desenvolvimento próprio pelo setor de engenharia, tornando-o primordial para a empresa em estudo, monetariamente. Esse item faz parte do suporte para os protetores laterais que servem para diversos modelos de caminhões, sendo que os furos usinados foram utilizados para a realização da montagem final, conforme mostrado nas imagens das Figuras 17 e 18.

Figura 17 – Protetor lateral montado para chassis



Fonte: imagem cedida pela empresa (2024).

Figura 18 – Protetor lateral montado e instalado



Fonte: imagem cedida pela empresa (2024).

O suporte é composto por chapas de aço SAE 1010, de espessura de 2 mm, que chegam na empresa em barras de 6 metros, as quais passam pelo processo fabril de corte via serra fita, de modo a ficarem do tamanho desejado para a montagem. Devido às chapas já chegarem do fabricante prontas, são logo repassadas para o operador do Centro de Usinagem, onde são realizados os furos conforme a necessidade. Em sua maioria, os furos são passantes e de 12,5 mm de diâmetro. Na Figura 19 estão apresentados os tubos brutos em processo de corte.

Figura 19 – Tubos brutos em processo de corte



Fonte: imagem cedida pela empresa (2024).

Após a realização do processo de corte, as peças são enviadas para empresa terceirizada que realiza a pintura eletrostática e, por fim, retornam à CNS para realizar o processo de montagem. Com a finalização do processo de montagem as peças são embaladas como verificado na Figura 20 e; posteriormente, entregues ao cliente final. As dimensões nominais do tubo de aço da empresa CNS estão detalhadas no desenho que se encontra no Anexo A.

Figura 20 – Protetores laterais prontos para montagem e entrega



Fonte: imagem cedida pela empresa (2024).

### 3.4 EQUIPAMENTOS

Para o processo de furação do produto ilustrado na Figura 20, é utilizado um Centro de Usinagem vertical, o Controle Numérico Computadorizado (CNC), conforme modelo Hartford LG1000, com a inclusão do quarto eixo, que é considerado um equipamento de última geração, que foi adquirido recentemente para compor o acervo de máquinas e equipamentos do setor de produção da empresa CNS, como demonstrado na Figura 21.



Figura 21 – Modelo do Centro de Usinagem da empresa CNS



Fonte: Catálogo Hartford (2024).

Para a obtenção das imagens das três brocas helicoidais em teste foi utilizado o equipamento do estereoscópio trinocular de medição universal da marca Entex, modelo TNE-10B, com ampliação do *zoom* entre 7 a 45 vezes, auxiliado pelo *software* ScopePhoto 2.0.4 que possibilitou a avaliação das imagens, cujo equipamento pertence ao Laboratório de Usinagem da UCS, como ilustrado na Figura 22.

Figura 22 – Estereoscópio trinocular



Fonte: imagem cedida pelo Laboratório de Usinagem da UCS (2024).

Para a obtenção das imagens deste estudo foram utilizadas duas ampliações de *zoom* uma de 7 vezes e outra de 30 vezes, no intuito de melhor visualizar as regiões de corte das brocas helicoidais analisadas e observar os desgastes gerados durante os testes de furação.

### 3.5 CONDIÇÕES DE USINAGEM

Os parâmetros para a usinagem dos furos do produto (protetores laterais) utilizados na empresa CNS são a velocidade de corte de 2.400 Rotações Por Minuto (RPM) com avanço de 400 m/min, os quais foram mantidos como padrão para o desenvolvimento deste estudo. De acordo com informações do operador do Centro de Usinagem da empresa CNS, em média são realizados em torno de 1.750 furos (3.500 mm) com uma única broca helicoidal.

Após, a broca é encaminhada para o processo de afiação que é realizado por empresa terceirizada e, depois retorna à CNS para ser reutilizada no processo fabril. Salienta-se que, para este estudo não será levado em consideração quando as brocas helicoidais necessitarem de afiação, pois os testes serão encerrados antes de chegarem a tal processo.

Na Figura 23 está ilustrado o Centro de Usinagem pertencente à CNS, o qual foi disponibilizado pela empresa para a realização dos testes de furação das três brocas helicoidais selecionadas para este estudo.

Figura 23 – Centro de Usinagem da empresa CNS



Fonte: imagem cedida pela empresa (2024).

### 3.6 FERRAMENTAS SELECIONADAS PARA OS TESTES

As brocas helicoidais utilizadas atualmente pela empresa CNS são de metal duro classificadas na classe M de carboneto de tungstênio e são revestidas por TiCN. Ao considerar o referencial teórico citado no capítulo 2 em sua seção 2.5.3, pôde-se notar que as brocas

helicoidais de revestimento de TiCN são comumente utilizadas em materiais tais como ferros fundidos e aços de médio carbono com elevada dureza (Marques, 2012), o que não caberia no caso deste estudo. Desse modo, conforme entendimento de Zeilmann (2022), as brocas helicoidais mais eficientes para o emprego no aço SAE 1010, cujo teor de carbono é menor, são as compostas de metal duro e classificadas na classe P, com a aplicação em aços comuns e aços ligados.

Ao considerar o exposto, optou-se pela seleção da broca helicoidal de revestimento TiN e de classe P para realizar o comparativo em relação à broca helicoidal revestida de TiCN e classe M utilizada na CNS. Segundo Bork (1995), a broca helicoidal de revestimento TiN e de classe P reduz o atrito entre o inserto e o cavaco, agindo como um lubrificante.

Visto no referencial teórico, na seção 2.2, que os desgastes mais aparentes na ferramenta de corte são os desgastes de flanco e de cratera devido à abrasão e à adesão (Bork, 1995; König; Klocke, 1997, 2002; Marques, 2012; Carvalho, 2019), como segunda opção de ferramenta, foi considerada a broca helicoidal de revestimento de TiAlN de classe P para também comparar com as outras duas brocas helicoidais já descritas.

Como explica Carvalho (2019), as brocas helicoidais revestidas com TiAlN resistem às altas temperaturas de corte, dificultando a entrada de calor no substrato, devido à grande redução do atrito propiciada pelo referido revestimento. Com esta redução do atrito, a ferramenta corta o material gerando menos calor (maior quantidade de calor é dissipado pelo cavaco) e, conseqüentemente, uma maior vida útil das ferramentas é obtida (Carvalho, 2019).

Tönshoff *et al.* (1994) esclarecem que, a adição de alumínio ao sistema de revestimento de TiN mostra vantagens importantes para as operações de corte sem lubrificação. Já, o revestimento de TiAlN, conforme Costa (2016), mostra um dos menores coeficientes de condução térmica e um aumento considerável de estabilidade de oxidação comparado com outro revestimento rígido.

Ao considerar o que foi exposto, no Quadro 2 estão listadas as duas brocas helicoidais que foram sugeridas para compor o estudo e para o desenvolvimento da análise custo *versus* benefício à empresa CNS e, também, é indicada a broca helicoidal já utilizada na empresa em estudo.

Quadro 2 – Brocas helicoidais selecionadas

Ferramenta de Corte	Revestimento	Classe	Denominação Utilizada no Estudo
Broca Helicoidal (CNS)	TiCN	M	Broca M/TiCN
Broca Helicoidal	TiN	P	Broca P/TiN
Broca Helicoidal	TiAlN	P	Broca P/TiAlN

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A partir da análise laboratorial realizada no Laboratório de Usinagem Mecânica do Bloco D da UCS e, por meio de acompanhamento profissional do GUS, foram obtidas as informações mais precisas sobre os mecanismos e os tipos de desgastes presentes nas ferramentas que foram utilizadas neste estudo, podendo assim quantizar os desgastes de cada uma das brocas helicoidais, estabelecendo a relação desejada de custo *versus* benefício.

### 3.7 CUSTOS

Em se tratando de custos, parte importante para o estudo comparativo, o setor de compras da empresa informou que a broca helicoidal M/TiCN, apresenta um custo de aquisição *online* em torno de R\$ 272,32 e, como é importada, existe ainda o valor do custo do frete em R\$ 12,00 e, dependendo do volume de compra o frete passa a ser gratuito. Na Tabela 3 estão detalhados os custos da broca helicoidal M/TiCN.

Tabela 3 – Custos da broca helicoidal M/TiCN

Itens	Valor em R\$
Valor Unitário	188,30
Impostos totais	84,02
Frete	12,00
<b>Total</b>	<b>284,32</b>

Fonte: elaborada pelo autor com base em informação do setor de compras da empresa.

Salienta-se que para este estudo, os custos da afiação da broca helicoidal da empresa (modelo M/TiCN) não entraram no cálculo dos custos, pois independentemente de qual for a ferramenta empregada, os ensaios foram realizados até que se chegasse à afiação, ou seja, o pós-afiação não entrará nos custos deste estudo, e serão considerados os valores que estão apresentados na Tabela 3 para a broca helicoidal M/TiCN. Na Tabela 4 constam os valores dos preços das duas brocas helicoidais de revestimentos de P/TiN e de P/TiAlN, adquiridas pela

empresa CNS por meio do vendedor da empresa Kennasul, que está localizada em Caxias do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 4 – Preços das duas brocas helicoidais

Itens	Broca Helicoidal	Broca Helicoidal
Revestimento	P/TiAlN	P/TiN
Marca	Widia	Kennametal
País de origem	Estados Unidos	China
Preço em R\$	825,15	829,28
IPI	5,20%	5,20%

Fonte: elaborada pelo autor com base em informação do setor de compras da empresa.

Verifica-se na Tabela 4 que as duas brocas são importadas, sendo que uma é proveniente dos Estados Unidos e outra da China, apresentando uma pequena diferença de preço e a alíquota de Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) é 5,20%.

### 3.8 ETAPAS DO TRABALHO: FLUXOGRAMA

A primeira etapa para desenvolver o estudo foi o surgimento da ideia entre o pesquisador e o professor para que fosse realizado na empresa CNS, em função do pesquisador ter acesso às informações e, também, devido à CNS já desenvolver o processo de furação em Centro de Usinagem próprio, o que propiciou o desenvolvimento estudo.

Para a fase dos testes de furação foi considerada a broca helicoidal já utilizada na empresa CNS e, também, foi preciso adquirir duas ferramentas, cuja escolha teve por base a literatura já descrita no capítulo 2, para identificar qual a melhor opção, sendo que tais ferramentas foram adquiridas pela empresa CNS e cedidas em prol da verificação da viabilidade do estudo. Também, foi disponibilizado o uso do Centro de Usinagem, já ilustrado na Figura 23, para a realização da análise de desgastes de cada um dos corpos de prova sem alteração dos dados de entrada da máquina.

Ademais, após a realização desses testes, cada uma das brocas helicoidais foi visualizada microscopicamente no Laboratório de Usinagem Mecânica do Bloco D da UCS, juntamente com o acompanhamento do GUS. Assim sendo, inicialmente foram realizados os testes de furação e, em seguida, desenvolvidas as análises em laboratório da ferramenta atual da empresa CNS, com os dados precisos dos mecanismos e dos tipos de desgastes.

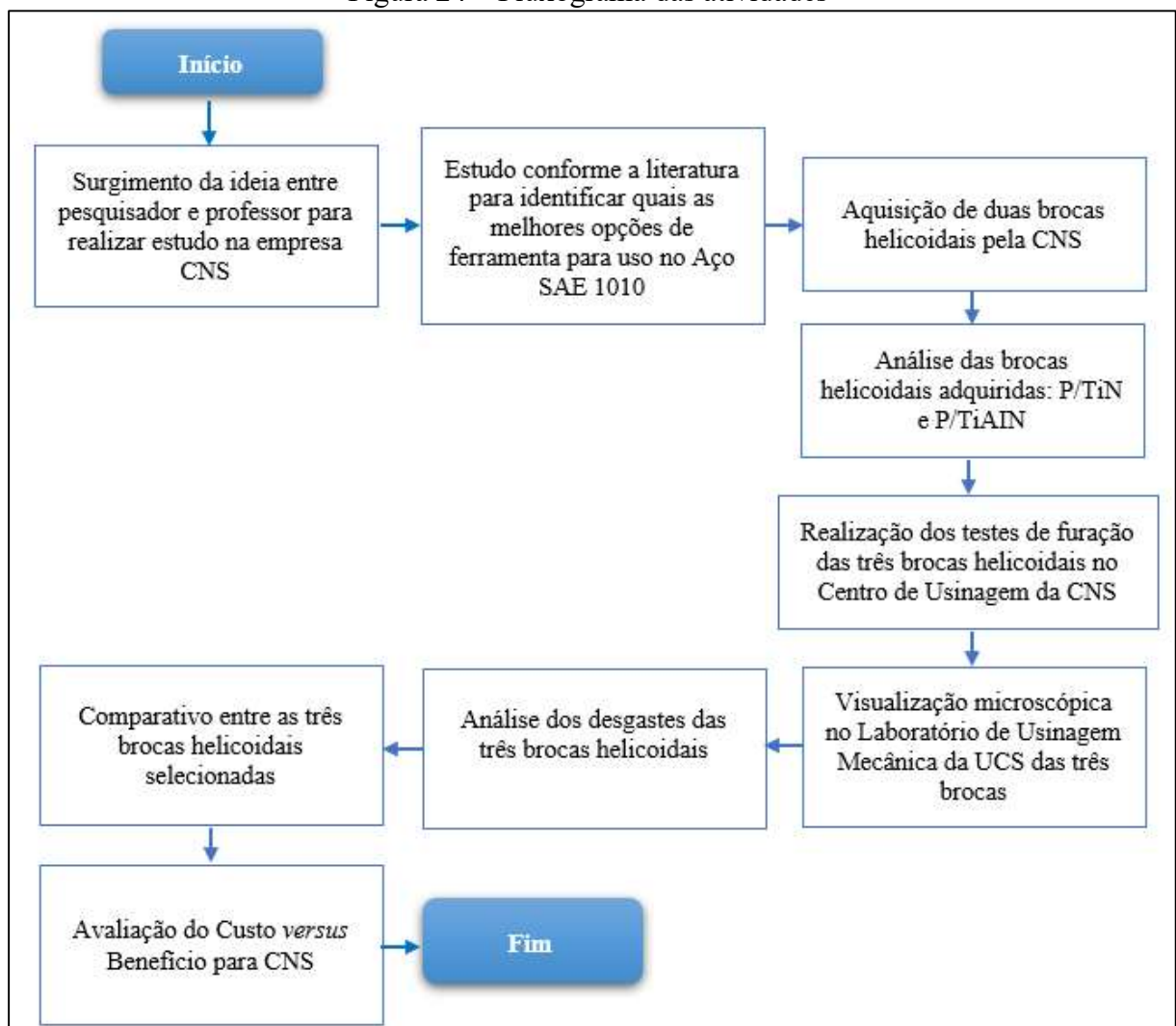
Enquanto isso, paralelamente, foi realizada a aquisição das duas brocas helicoidais de revestimentos de P/TiN e de P/TiAlN, para que houvesse tempo hábil de chegada, o que

possibilitou a realização do restante dos experimentos e, para que posteriormente, fosse realizado o comparativo entre as três brocas helicoidais.

Os testes laboratoriais foram realizados no Laboratório de Usinagem Mecânica do Bloco D da UCS (ver Figura 1) com o apoio do GUS utilizando-se as três brocas helicoidais considerando-se como parâmetro até o momento da necessidade de afiação. Após o término dos testes laboratoriais foi realizado um comparativo entre as três brocas helicoidais para a verificação de qual seria a melhor opção para a empresa.

Com isso, na etapa seguinte foi estabelecida a relação do custo-benefício entre as três ferramentas de corte, ou seja, as três brocas helicoidais de classes e revestimentos M/TiCN, P/TiAlN e P/TiN, respectivamente. Na Figura 24 está representado o fluxograma constando todas as atividades que foram realizadas durante o desenvolvimento deste estudo.

Figura 24 – Fluxograma das atividades



Fonte: elaborada pelo autor (2024).

## 4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os testes práticos realizados, os quais foram definidos na metodologia. Primeiramente, os testes foram feitos na empresa CNS junto ao operador do Centro de Usinagem.

Na sequência do capítulo, são demonstradas as análises que foram realizadas no Laboratório de Usinagem Mecânica do Bloco D da UCS com o acompanhamento do GUS, no intuito de manter a análise uniforme, para cada uma das três brocas helicoidais selecionadas, sendo que os testes foram separados por milímetros furados.

Como indicado na metodologia em relação às condições de usinagem, a tendência seria que os desgastes das brocas helicoidais selecionadas fossem maiores nos primeiros processos. Em função disso, o teste inicial se deu após apenas 480 mm de furação. Enquanto o segundo teste de furação em 1.512 mm; o terceiro teste em 7.512 mm e; o quarto e último teste de 13.512 mm, até que chegassem nas suas respectivas rupturas ou que necessitassem de afiação, conforme indicação do operador do Centro de Usinagem da CNS, mantendo a pesquisa equivalente para as três brocas helicoidais selecionadas.

Desse modo, por intermédio das imagens microscópicas, pode-se observar os desgastes gradualmente das brocas helicoidais durante cada etapa dos ensaios, comparando-as sob as mesmas perspectivas, dentre elas: mesma ampliação com o uso do equipamento do estereoscópio trinocular, considerando-se duas ampliações: 7 vezes e outra de 30 vezes e; a mesma quantidade de milímetros furados em cada etapa.

Vale ressaltar que, antes de serem colocadas à prova, as três brocas helicoidais selecionadas foram fotografadas ainda novas, para avaliação, no intuito de identificar se não haviam defeitos ou inconformidades, o que poderia gerar diferenças nos resultados dos testes. As imagens em questão foram: as faces, os flancos e as quinas das três brocas helicoidais, no entanto, para as posteriores furações, foram consideradas somente as imagens dos flancos, com duas ampliações: uma de 7 vezes e; outra de 30 vezes, como serão detalhadas nas seções 4.1, 4.2 e 4.3 deste capítulo.

Para incrementar o estudo, no Laboratório de Usinagem Mecânica do Bloco D da UCS foram realizadas as marcações via marcador elétrico nos flancos 1 e 2 de cada broca helicoidal. Desse modo, com o auxílio do *software* ScopePhoto 2.0.4 que foi disponibilizado pelo referido Laboratório foi possível determinar a distância da marcação até o ponto desejado, oferecendo com exatidão os desgastes presentes. Além disso, as marcações também serviram para identificar os gumes, onde há um ponto, lado 1, e dois pontos, lado 2.



No presente capítulo também é realizado um comparativo dos resultados obtidos nos testes entre as três brocas helicoidais selecionadas e, por fim, é realizada a avaliação do custo *versus* benefício à empresa consideram-se também as três brocas helicoidais testadas.

#### 4.1 BROCA HELICOIDAL M/TiCN

Para iniciar os ensaios, utilizou-se a ferramenta de corte de metal duro, classificada pela Norma ISO 513:2013 na classe M e revestida em Carbonitreto de Titânio (TiCN), aqui denominada de broca helicoidal M/TiCN, cujas características técnicas são a alta dureza (3.000 HV), cujas aplicações na usinagem são em situações de forças de corte médias a baixas e, também, nos materiais tais como ferros fundidos e aços de médio carbono (Marques, 2012).

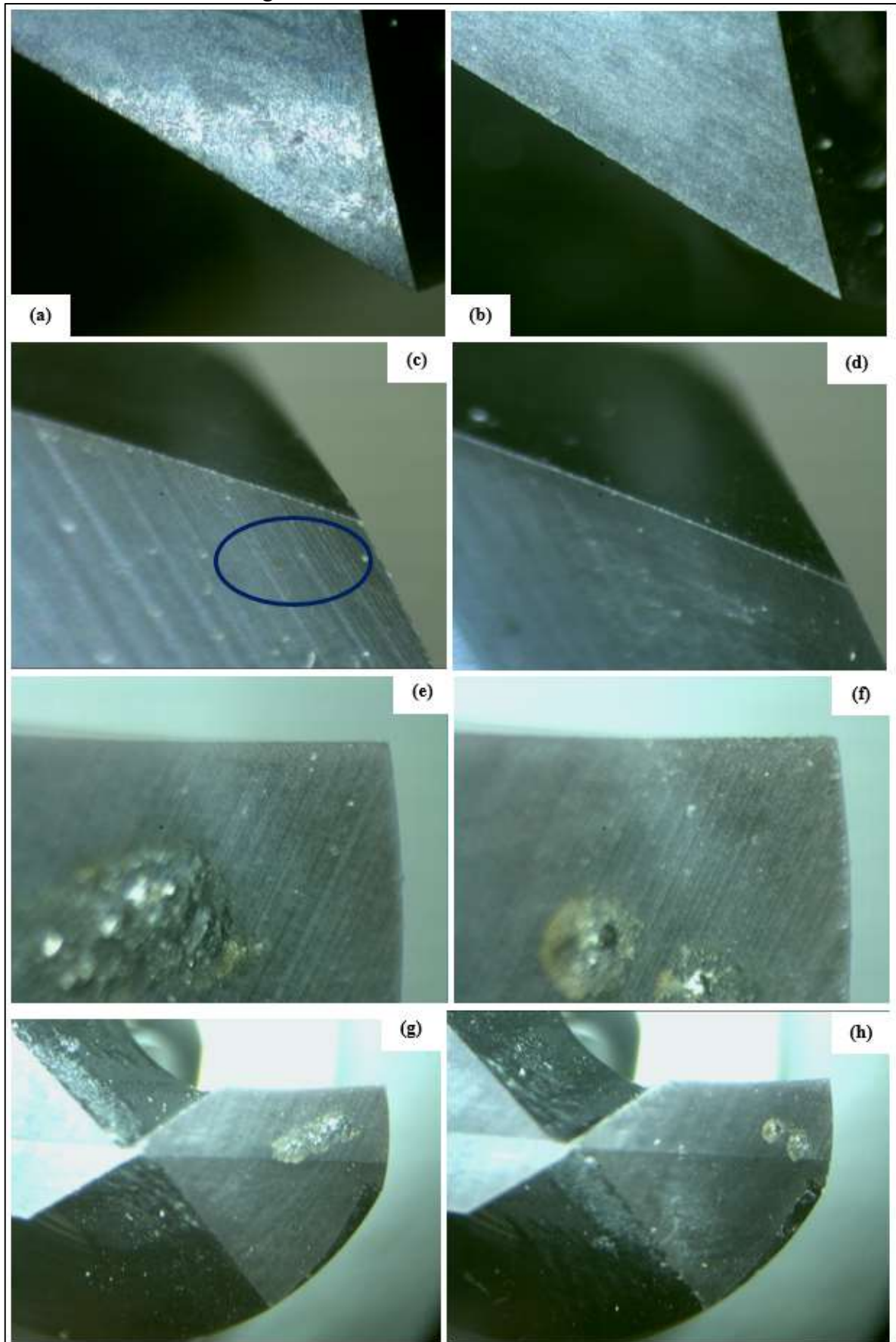
Na Figura 25 estão ilustradas as imagens da broca helicoidal de revestimento M/Ti/CN nova, ou seja, antes da realização dos testes de furação, cuja ferramenta já está sendo utilizada atualmente na empresa CNS.

De acordo com a Figura 25, nas imagens das letras (a) e (b) estão ilustradas as quinas nos gumes 1 (G1) e gume 2 (G2) da broca helicoidal M/TiCN nova, respectivamente, com a ampliação de *zoom* de 30 vezes. Já, nas letras (c) e (d) também com ampliação de 30 vezes estão apresentadas as faces da broca nos gumes (G1 e G2).

Por sua vez, as imagens das letras (e) e (f) foram ampliadas 30 vezes e se referem aos flancos nos gumes (G1 e G2) da ferramenta e; as imagens das letras (g) e (h) as quais foram ampliadas 7 vezes, e também mostram os flancos nos gumes (G1 e G2) da broca helicoidal M/TiCN nova.

Nota-se na Figura 25 que a broca M/TiCN não apresenta lascamentos ou microlascamentos, irregularidades ou alterações geométricas de fábrica (fornecedor). Porém, as marcas da passagem do rebolo no processo de fabricação são evidentes, como pode-se observar na imagem ilustrada na letra (c), o que não é tão incomum e pode-se considerar tolerável para a realização dos testes de furação (Zeilmann, 2022).

Figura 25 – Broca helicoidal M/TiCN nova



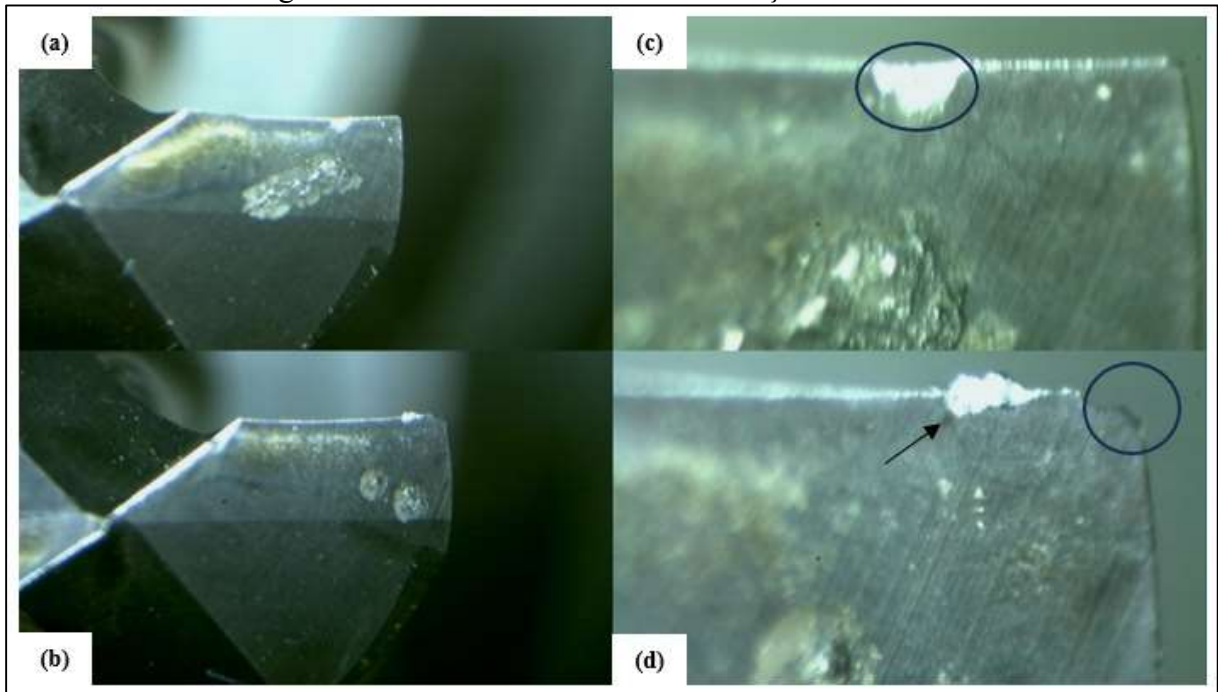
Fonte: O autor (2024).

Nos próximos itens são demonstrados os testes de furação realizados com a broca helicoidal M/TiCN, considerando-se as furações em 480 mm e 1.512 mm.

#### 4.1.1 Furação de 480 mm

Após a realização do ensaio de 480 mm de furação no aço SAE 1010, a broca de metal duro classe M e revestimento de Carbonitreto de Titânio mostrou considerável desgaste inicial, sendo observados leve abrasão e desgaste de flanco (VB) dentro do padrão normal, como verifica-se na Figura 26 e a letra (a) identifica o gume 1 (G1) e a letra (b) o gume 2 (G2).

Figura 26 – Broca M/TiCN teste de furação de 480 mm



Fonte: O autor (2024).

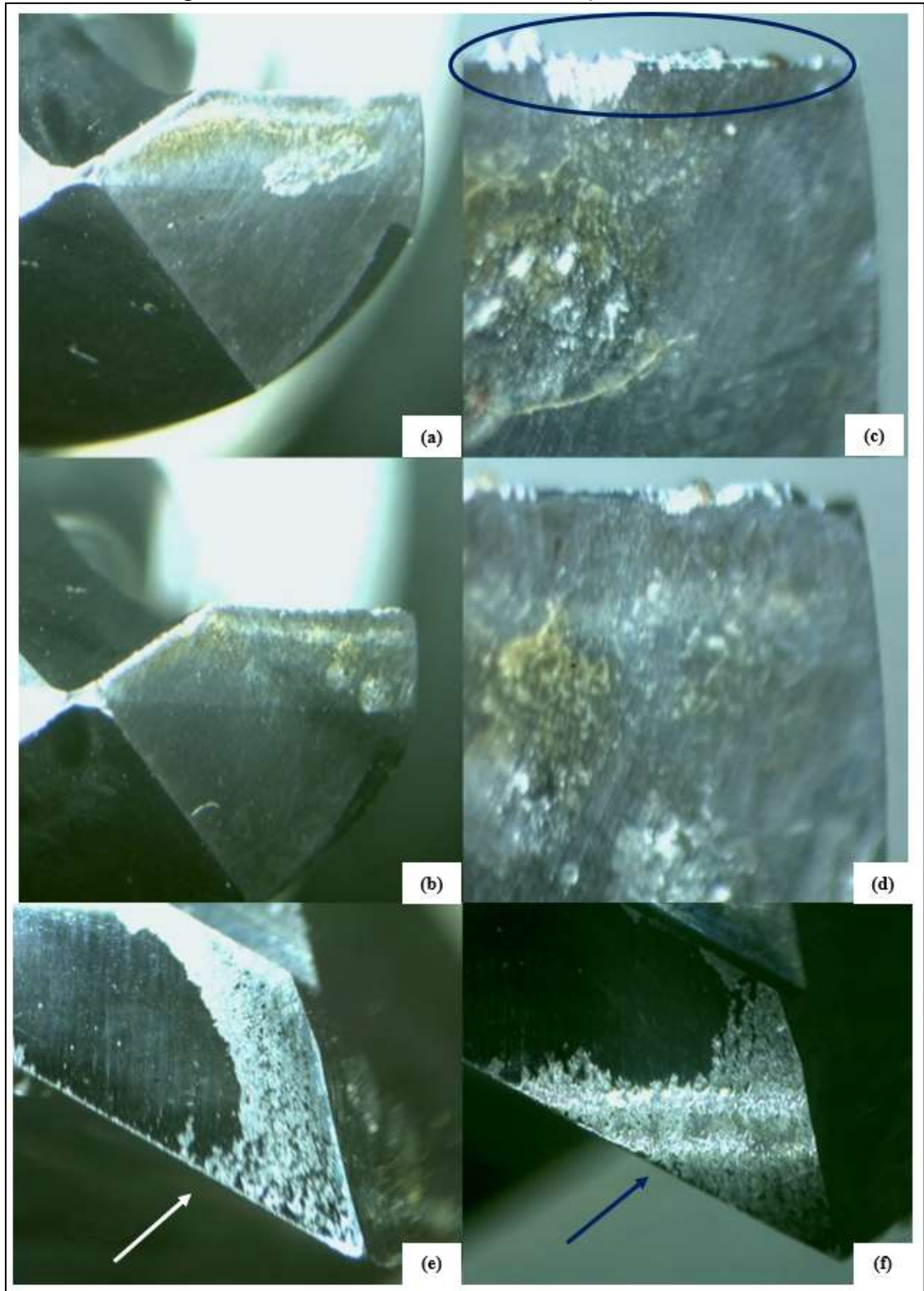
Como verificado na Figura 26, nota-se adesão um pouco acima do esperado, conforme circulado na imagem da letra (c). Além disso, a broca M/TiCN apresentou lascamento quando visualizada a ‘olho nu’ no canto superior direito do gume 2 circulado e identificado na imagem da letra (d).

#### 4.1.2 Furação de 1.512 mm

Ao realizar os testes de furação de 1.512 mm com a broca helicoidal M/TiCN verificou-se que os mecanismos de desgastes de abrasão e de adesão foram bastante

intensificados e, também, observou-se os tipos de desgastes VB e  $VB_{max}$  acima do esperado, como ilustrado na Figura 27 e circulado na letra (c). Em função disso, foi notório o ruído da broca helicoidal M/TiCN durante a operação de furação em 1.512 mm.

Figura 27 – Broca M/TiCN teste de furação de 1.512 mm



Fonte: O autor (2024).

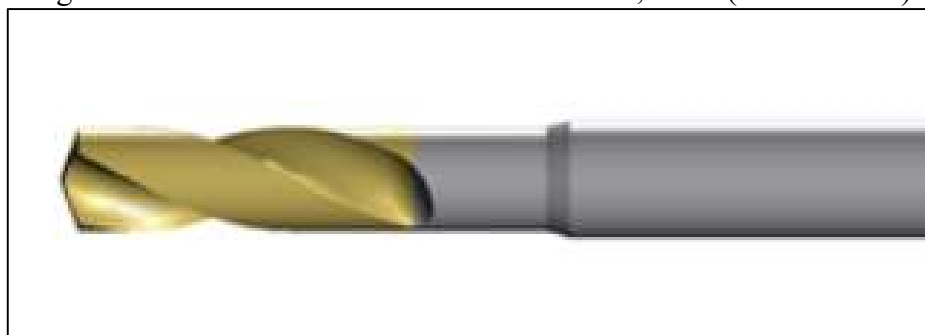
Avaliando-se o estado geral da broca helicoidal M/TiCN, talvez ainda fosse possível operar, porém, devido, principalmente, a ocorrência de um grande deslocamento no revestimento observado nas quinas de ambos os lados da referida broca, após o teste de furação total de 1.512 mm, conforme mostrado com as setas nas letras (e) e (f) da Figura 27, foi decidido parar a operação da furação. Tal ocorrência denegre muito as suas propriedades e demonstra um menor nível de qualidade do metal duro e uma inadequação do revestimento no uso do aço SAE 1010. Assim sendo, já se mostrou necessária a afiação da referida broca, o que para o presente estudo, já caracterizou o fim da vida útil de tal ferramenta.

#### 4.2 BROCA HELICOIDAL P/TiAlN

A ferramenta de corte de metal duro, denominada de broca helicoidal P/TiAlN foi adquirida pela empresa CNS de um fornecedor parceiro situado em Caxias do Sul, mas a referida ferramenta é produzida na fábrica dos Estados Unidos, pertencente à marca Widia, cujo detalhamento da aquisição encontra-se no Anexo B.

A broca helicoidal P/TiAlN é classificada pela Norma ISO 513:2013 na classe P, sendo revestida de Nitreto de Titânio-Alumínio (TiAlN) que confere à ferramenta um aumento significativo da sua vida útil, apresentando baixa taxa de oxidação em elevadas temperaturas (Carvalho, 2019). A ferramenta utilizada neste estudo apresenta as seguintes características: broca MD 12,5 mm/4921/3xD, como identificado na Figura 28.

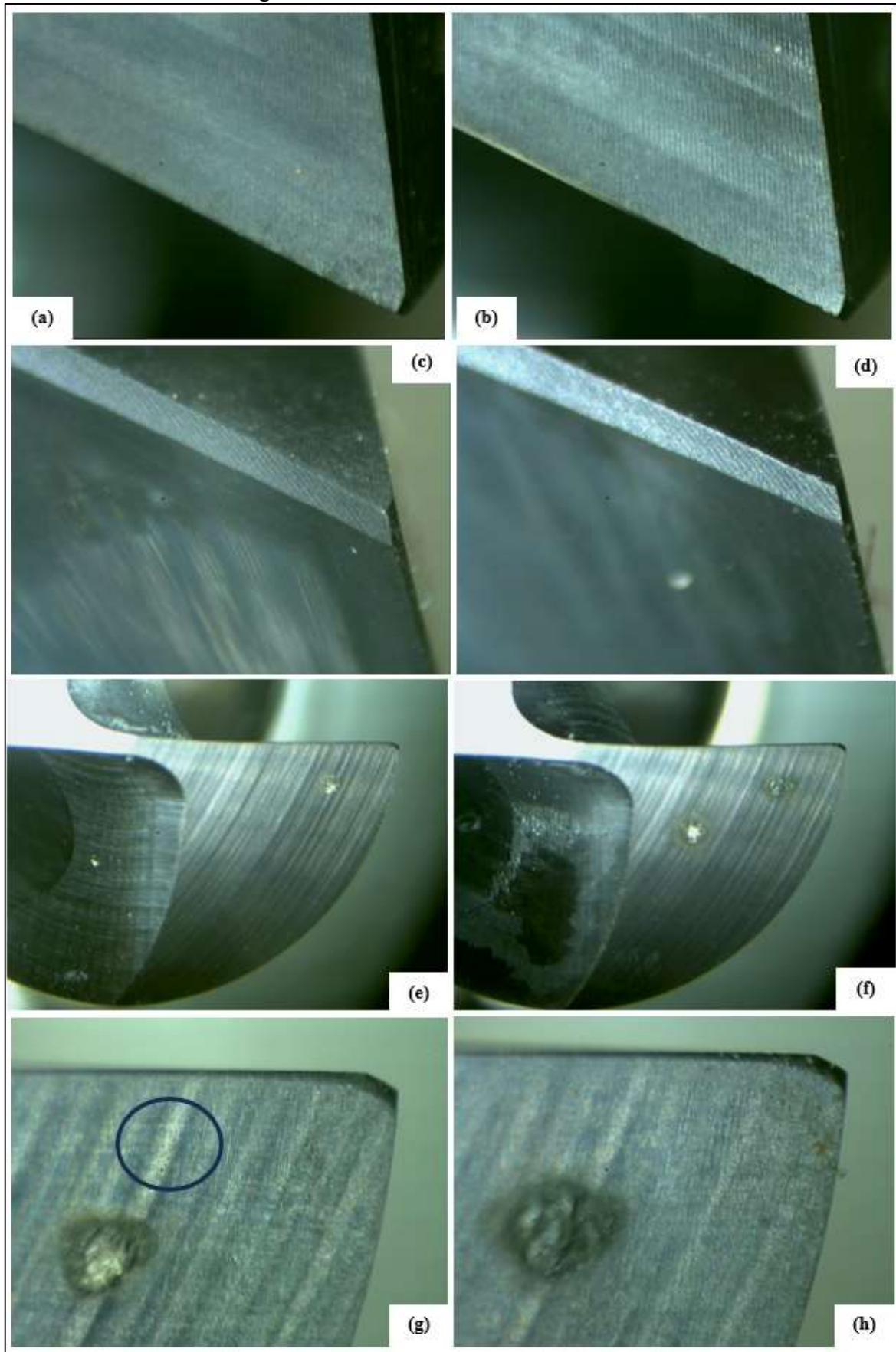
Figura 28 – Modelo da broca helicoidal MD 12,5 mm (marca Widia)



Fonte: Imagem cedida pela empresa CNS

Na Figura 29 estão mostradas as imagens da broca helicoidal P/TiAlN nova. Verificam-se as imagens das quinas nos gumes (G1 e G2) da ferramenta nas letras (a) e (b) com aproximação de 30 vezes. Enquanto nas letras (c) e (d) estão ilustradas as faces da broca P/TiAlN nos gumes (G1 e G2) com aproximação de 30 vezes.

Figura 29 – Broca helicoidal P/TiAlN nova



Fonte: O autor (2024).

Nas letras (e) e (f) são mostrados os flancos nos gumes (G1) e (G2) com aproximação de 7 vezes e; nas letras (g) e (h) estão representados os flancos da broca nos gumes (G1) e (G2) com aproximação de 30 vezes.

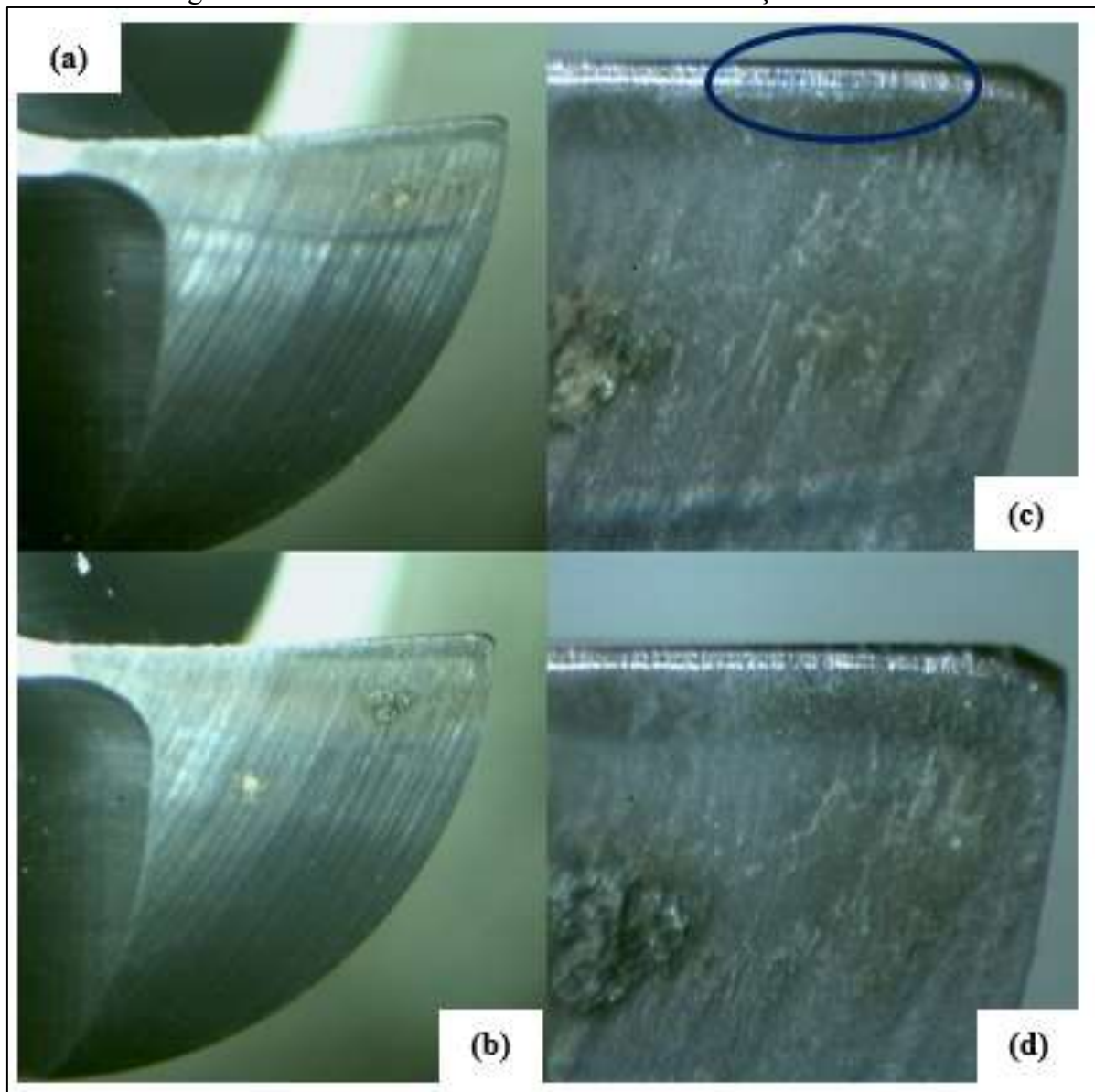
Como se verifica na Figura 29, assim como na broca helicoidal M/TiCN, a broca helicoidal P/TiAlN também não apresentou inconformidades de fábrica. No entanto, novamente se observou marcas de rebolo como circulado na letra (g) e, também, conforme assinalado na letra (h), mas que não significaram defeitos que viessem a comprometer os testes de furação realizados cujos resultados estão apresentados na sequência.

#### **4.2.1 Furação de 480 mm**

As primeiras furações realizada com a broca helicoidal P com revestimento de Nitreto de Titânio-Alumínio se mostraram muito sólidas, com poucos desgastes aparentes e mínimas marcas de abrasão e VB, enquanto o mecanismo de desgaste de adesão foi quase inexistente, como assinalado na letra (c) representado na Figura 30.

Ao contrário da broca helicoidal M/TiCN, como identificado a broca helicoidal P/TiAlN não apresentou nenhum lascamento e o seu desgaste geral foi mais uniforme e o revestimento não apresentou danos significativos, como identificado na Figura 30.

Figura 30 – Broca helicoidal P/TiAlN teste de furação de 480 mm



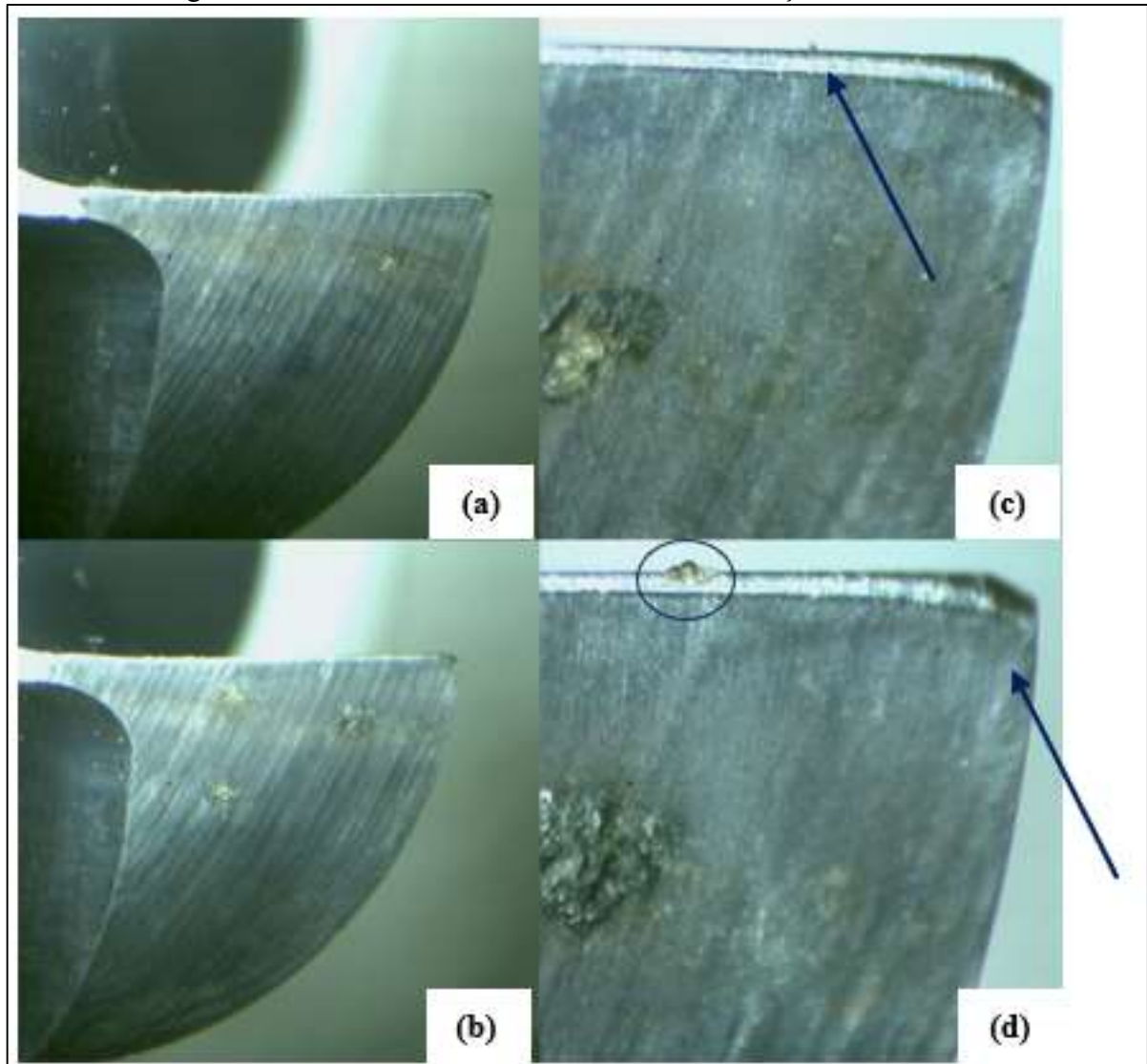
Fonte: O autor (2024).

#### 4.2.2 Furação de 1.512 mm

Ao realizar os testes de furação com 1.512 mm furados, a broca P/TiAlN continuou se mostrando mais resistente aos desgastes quando comparada com a broca helicoidal M/TiCN. Agora, como mecanismos de desgaste aparentes pôde-se notar leve adesão e abrasão, como observado nas letras (c) e (d), respectivamente. Já os tipos de desgaste, VB e  $VB_{max}$  novamente estiverem presentes, como verificado também nas letras (c) e (d), mas em quantidades moderadas, conforme o esperado é o que mostra a Figura 31.



Figura 31 – Broca helicoidal P/TiAlN teste de furação de 1.512 mm

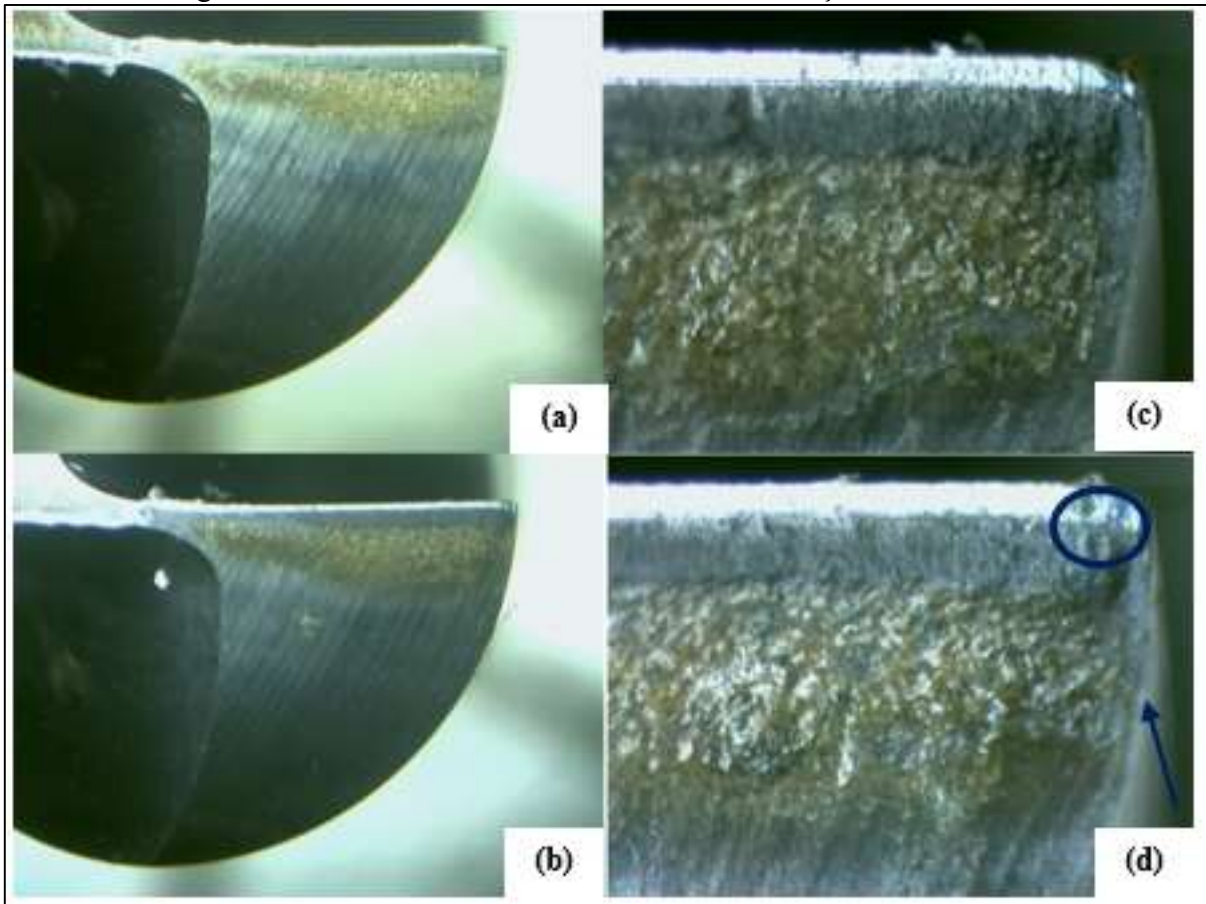


Fonte: O autor (2024).

#### 4.2.3 Furação de 7.512 mm

Na sequência da realização dos testes de furação com a broca helicoidal P/TiAlN, foi feito um terceiro teste de furação com 7.512 mm, como demonstrado na Figura 32.

Figura 32 – Broca helicoidal P/TiAlN teste de furação de 7.512 mm



Fonte: O autor (2024).

Conforme visualizado na Figura 32, ficou evidente que, a partir dos testes de furação de 1.512 mm, a broca P/TiAlN entrou na zona de ‘estabilidade’ de desgaste indicado na literatura conforme Carvalho (2019) (ver Figura 4), mostrando, que após mais de 7.500 mm furados, os mesmos mecanismos e os tipos de desgastes foram observados, mas desta vez foram intensificados.

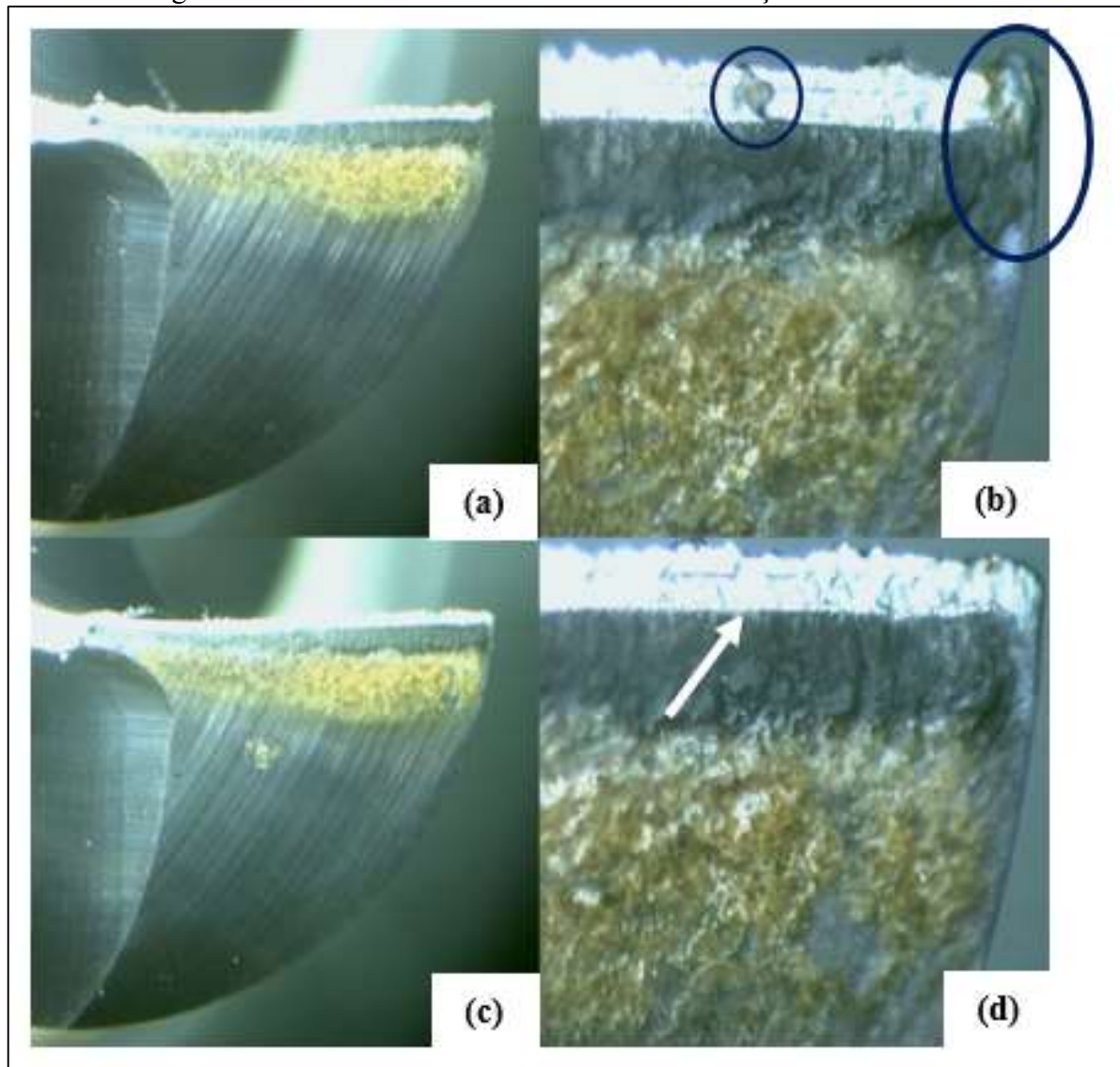
Ou seja, o mecanismo de desgaste de abrasão se mostrou mais evidente como indicado na letra (c) e, também, pode ser observado nas letras (a), (b) e (d) e; de adesão como circulado na letra (d).

Os tipos de desgaste também percebidos foram VB e  $VB_{max}$ , sendo este último indicado com uma seta na letra (d) conforme ilustração da Figura 32, também se intensificaram. Com esse satisfatório resultado, foi decidido seguir adiante com as furações, operando mais 6.000 mm, como detalhado na sequência.

#### 4.2.4 Furação de 13.512 mm

Ao seguir os testes de furação com a broca helicoidal P/TiAlN, foi realizado um quarto e último teste de furação com 13.512 mm, como representado na Figura 33.

Figura 33 – Broca helicoidal P/TiAlN teste de furação de 13.512 mm



Fonte: O autor (2024).

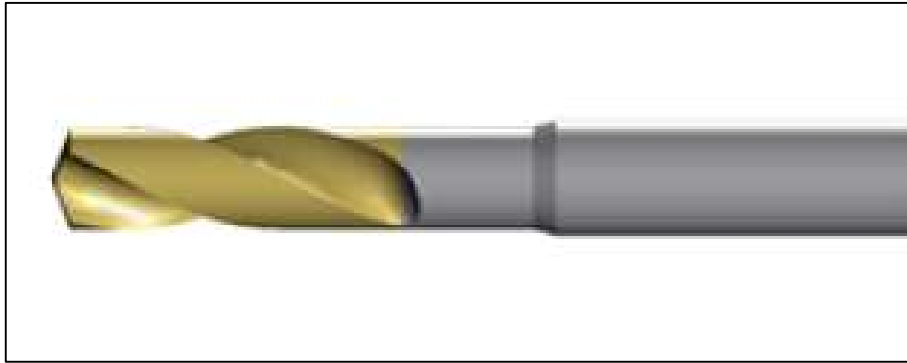
Com a realização dos testes de 13.512 mm de furação, a broca helicoidal P/TiAlN ainda se apresentou em condições de operação, porém, se observa um mecanismo de desgaste de abrasão considerável como identificado na seta na imagem da letra (d) e; percebeu-se a presença de microlascamentos como assinalado na letra (b) e o tipo de desgaste  $VB_{max}$  bem saliente também assinalado na letra (b).

### 4.3 BROCA HELICOIDAL P/TiN

A terceira ferramenta de metal duro selecionada para o estudo foi a broca helicoidal de classe P, conforme Norma ISO 513:2013, e de revestimento de Nitreto de Titânio (TiN), aqui denominada de broca helicoidal P/TiN, caracterizada com maior dureza e resistência ao desgaste (Zeilmann, 2022).

A broca helicoidal P/TiN foi adquirida pela empresa CNS de fornecedor situado em Caxias do Sul, sendo que a ferramenta é produzida na China pertencente à marca Kennametal e o detalhamento da aquisição da referida ferramenta encontra-se no Anexo C. Na Figura 34 está ilustra do modelo da broca helicoidal P/TiN adquirida.

Figura 34 – Modelo da broca helicoidal MD 12,5 mm (marca Kennametal)

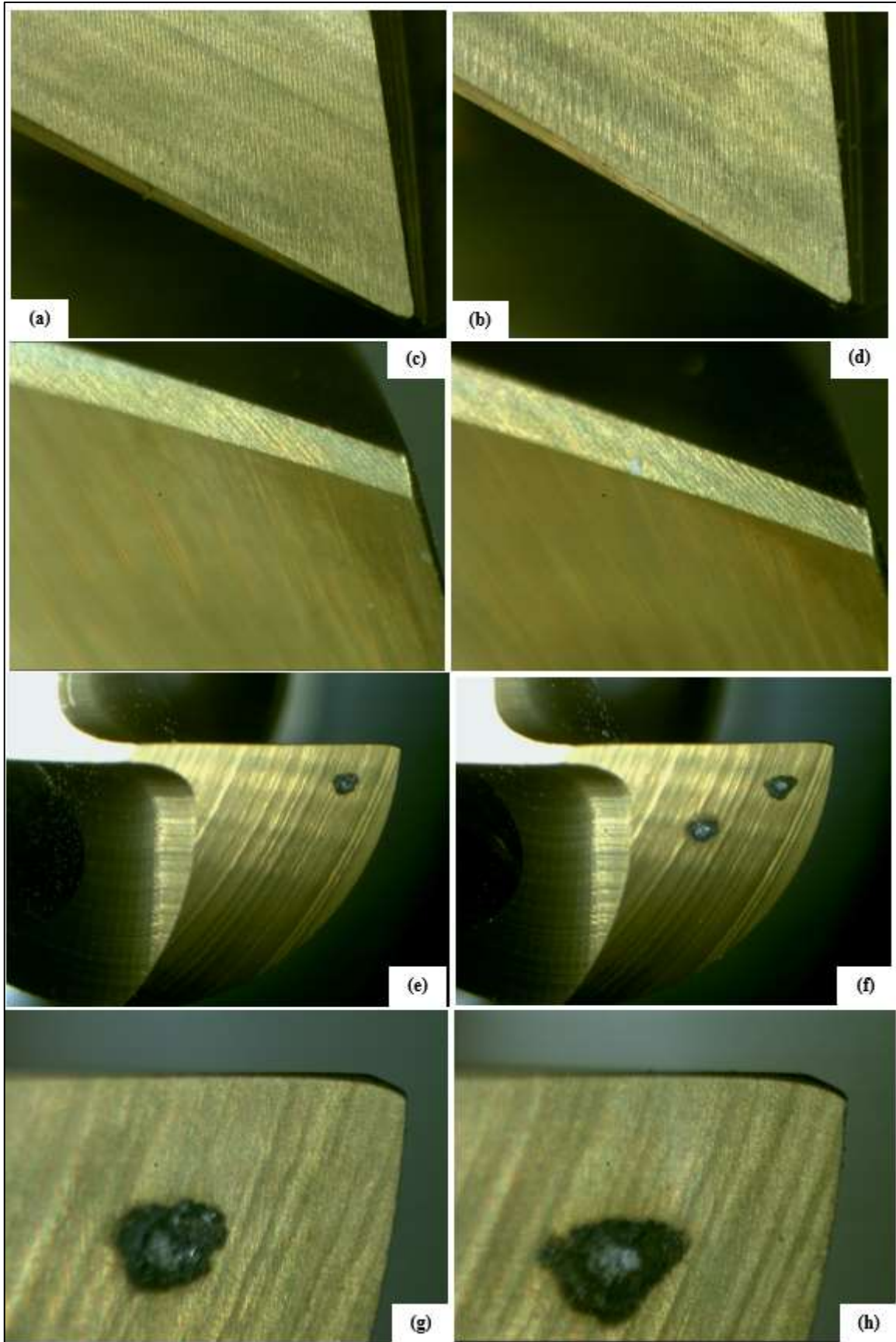


Fonte: Imagem cedida pela empresa CNS

Na Figura 35 estão demonstradas as imagens da broca helicoidal P/TiN, sendo que nas letras (a) e (b) estão ilustradas as quinas da ferramenta com aproximação de *zoom* em 30 vezes, nos gumes (G1) e (G2) respectivamente. Já, nas letras (c) e (d) são ilustradas as faces da ferramenta com a mesma aproximação, ou seja, *zoom* em 30 vezes.

Nas letras (e) e (f) estão apresentados os flancos da broca P/TiN com a aproximação de *zoom* de 7 vezes nos gumes (G1) e (G2); enquanto que nas imagens das letras (g) e (h) são apresentados os flancos com aproximação de *zoom* de 7 vezes nos gumes (G1) e (G2).

Figura 35 – Broca helicoidal P/TiN nova



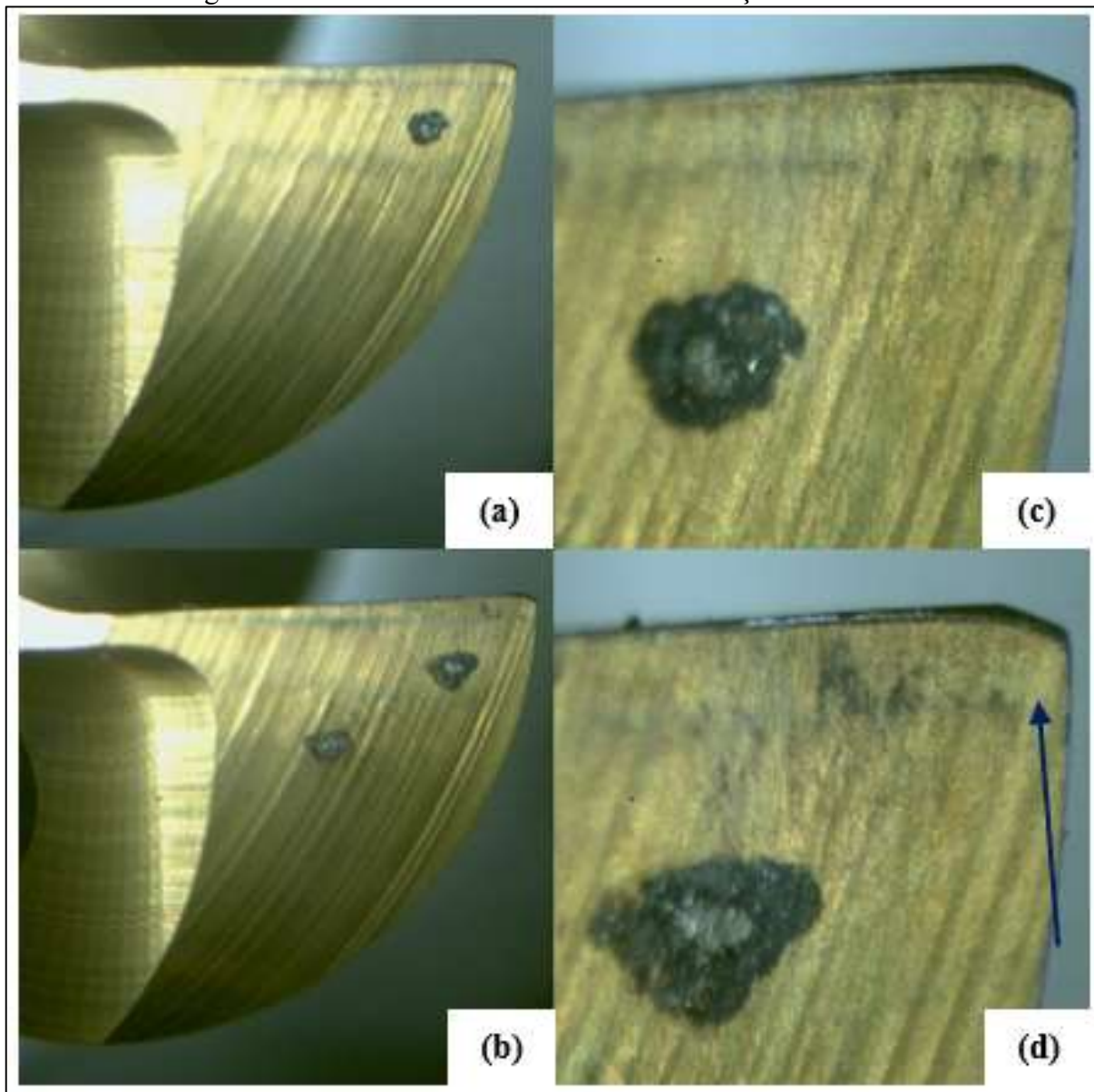
Fonte: O autor (2024).

Como observando na Figura 35 e, seguindo a tendência dos resultados dos testes de furação das outras duas brocas helicoidais (M/TiCN e P/TiAlN), a ferramenta revestida com nitreto de titânio (P/TiN) também não apresentou falhas em sua estrutura, além das marcas de fabricação aparentes.

#### 4.3.1 Furação de 480 mm

Na Figura 36 estão apresentados os resultados dos testes de furação da broca helicoidal P/TiN em 480 mm.

Figura 36 – Broca helicoidal P/TiN teste de furação de 480 mm



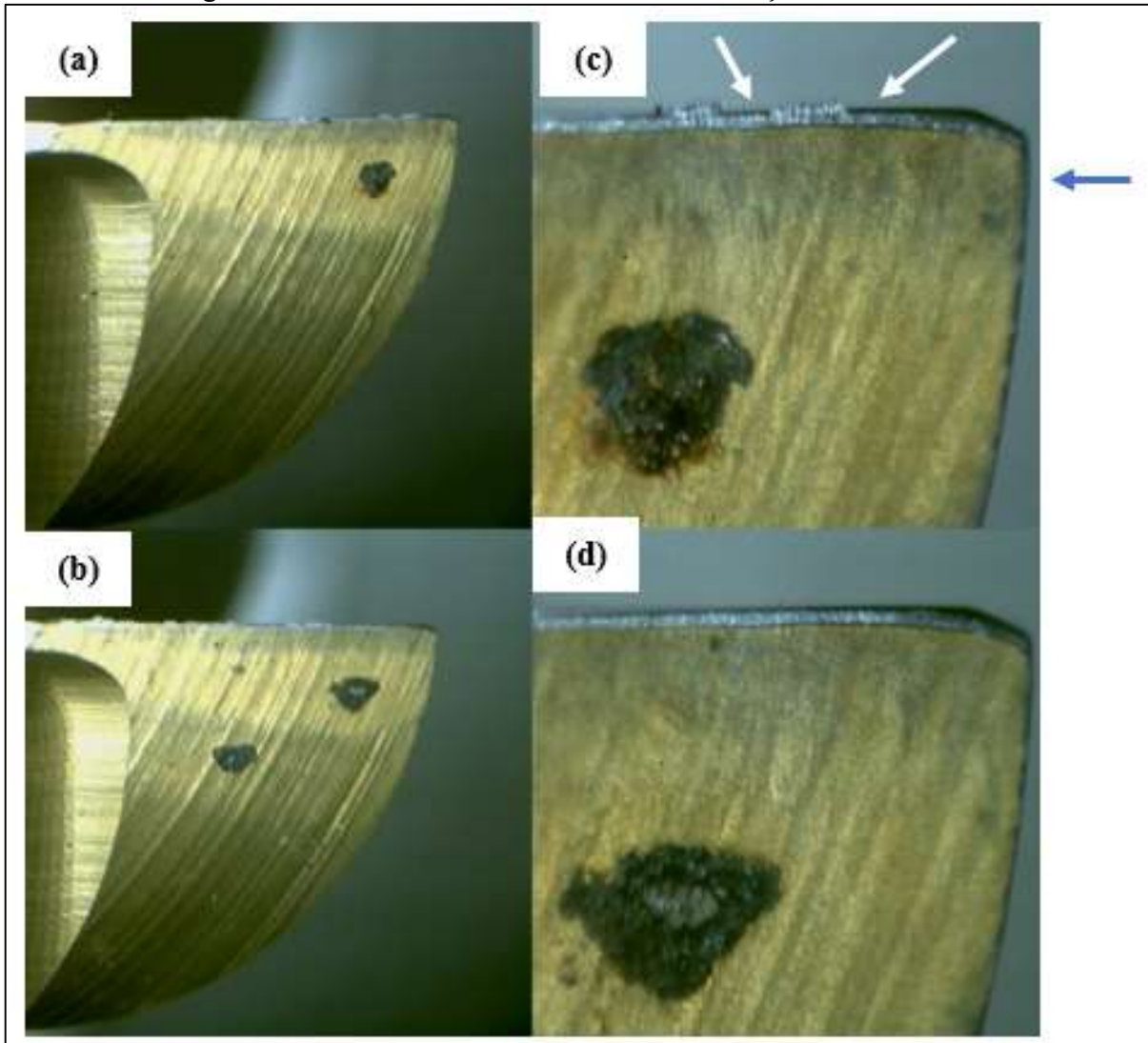
Fonte: O autor (2024).

Como se percebe na Figura 36, nos primeiros testes de furação em 480 mm, assim como ocorreu com a broca helicoidal P/TiAlN, a broca da fabricante Kennametal (P/TiN) também apresentou destaque no mecanismo de desgaste de abrasão e o tipo de desgaste VB, como observado na letra (d), até menor quando comparada com a broca helicoidal P/TiAlN e  $VB_{max}$  levemente superior como indicado na seta na letra (d) representada na Figura 36.

#### 4.3.2 Furação de 1.512 mm

A Figura 37 demonstra os resultados obtidos após os testes de furação da broca helicoidal P/TiN em 1.512 mm.

Figura 37 – Broca helicoidal P/TiN teste de furação de 1.512 mm



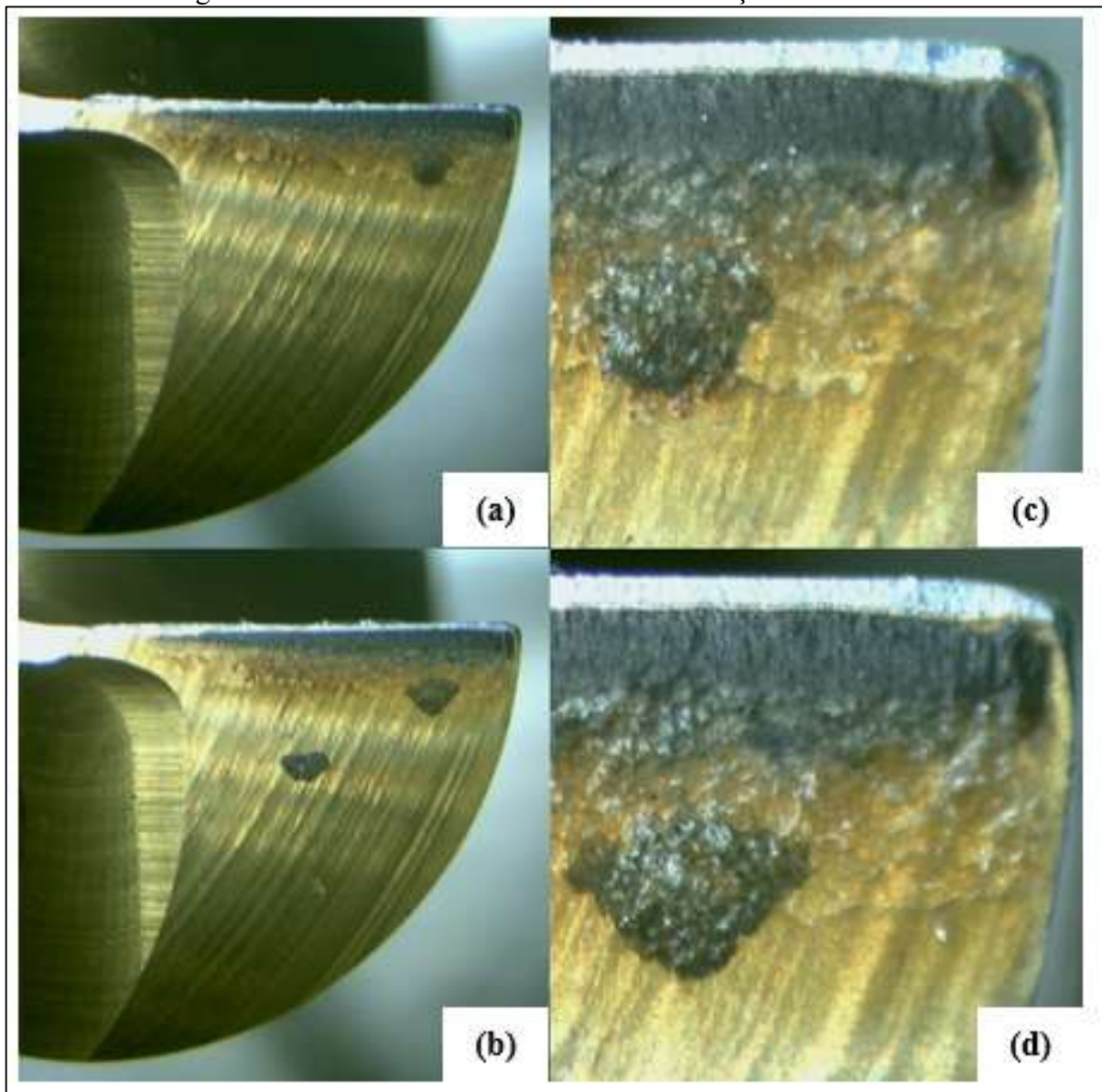
Fonte: O autor (2024).

Como verificado na Figura 37, os testes de furação realizados com 1.512 mm de furação mostraram que os mecanismos e os tipos de desgastes ficam mais aparentes, com adesão sendo mais saliente ao longo do gume (G1), como identificado na letra (c) e o tipo de desgaste  $VB_{max}$  razoável, como identificado com a seta azul na letra (c) ilustrado na Figura 37.

#### 4.3.3 Furação de 7.512 mm

A Figura 38 apresenta os resultados obtidos com a realização dos testes de furação da broca helicoidal P/TiN em 7.512 mm.

Figura 38 – Broca helicoidal P/TiN teste de furação de 7.512 mm



Fonte: O autor (2024).

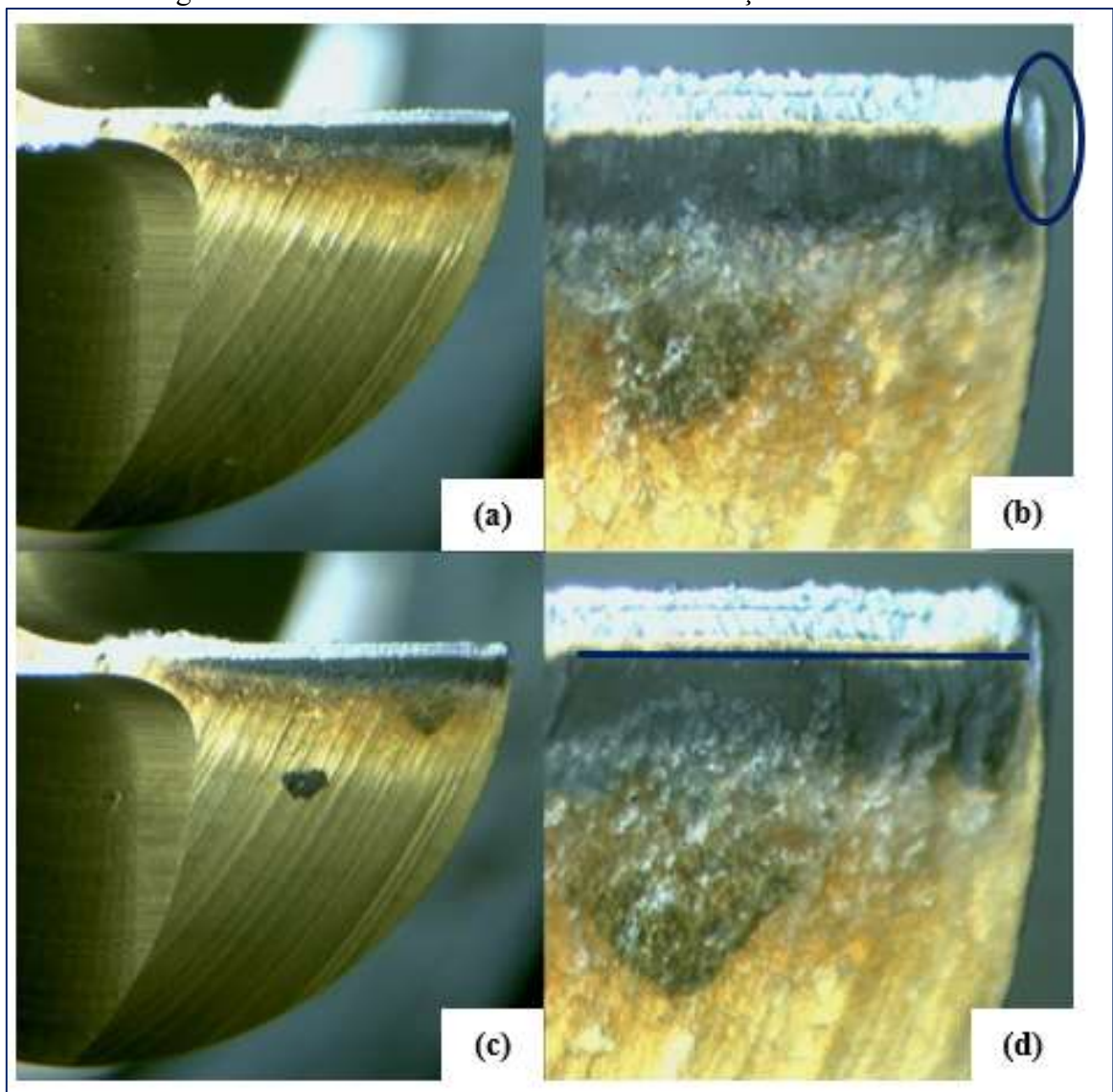


Como se verifica na Figura 38, assim como a broca helicoidal P/TiAlN, a broca helicoidal P/TiN também demonstrou excelente resistência ao desgaste. Isso se constatou com a realização dos testes de furação, depois de 7.512 mm furados, pois a ferramenta permaneceu estável e com mecanismos e tipos de desgaste aumentados como pode ser observado nas letras (a), (b), (c) e (d), porém ainda capaz de operar por mais tempo como detalhado na sequência.

#### 4.3.4 Furação de 13.512 mm

Ao realizar os testes de furação em 7.512 mm, foi possível prosseguir com os testes e realizar um quarto teste de furação com a broca helicoidal P/TiN, em 13.512 mm, como demonstrado na Figura 39.

Figura 39 – Broca helicoidal P/TiN teste de furação de 13.512 mm



Fonte: O autor (2024).

Percebe-se na Figura 39 que ao serem furados mais 6.000 mm, a broca da fabricante Kennametal se apresentou em estado muito semelhante ao observado no subitem 4.3.3, com o mecanismo de desgaste de abrasão e o tipo de desgaste VB levemente maiores conforme identificados na letra (b) e na letra (d). Enquanto o tipo de desgaste  $VB_{max}$  mais saliente, conforme assinalado na letra (b). Apesar disso, a broca helicoidal P/TiN ainda seria capaz de operar por mais tempo.

#### 4.4 COMPARATIVO DAS TRÊS BROCAS HELICOIDAIS UTILIZADAS

Para realizar o comparativo das três brocas helicoidais testadas, primeiramente, foi realizado uma comparação em relação aos mecanismos de desgaste e aos tipos de desgaste das três ferramentas, cujos resultados estão demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Mecanismos e tipos de desgaste das três brocas helicoidais

Testes de Furação	480 mm		1.512 mm		7.512 mm		13.512 mm	
	Mecanismo	Tipo	Mecanismo	Tipo	Mecanismo	Tipo	Mecanismo	Tipo
Broca Helicoidal M/TiCN	Abrasão Adesão Lascamento	VB	Abrasão Adesão	VB $VB_{max}$	-	-	-	-
Broca Helicoidal P/TiAlN	Abrasão	VB	Abrasão Adesão	VB $VB_{max}$	Abrasão Adesão	VB $VB_{max}$	Abrasão	$VB_{max}$
Broca Helicoidal P/TiN	Abrasão	VB $VB_{max}$	Adesão	VB	Adesão	VB	Abrasão	VB $VB_{max}$

Fonte: elaborada pelo autor com base nos resultados dos testes de furação (2024).

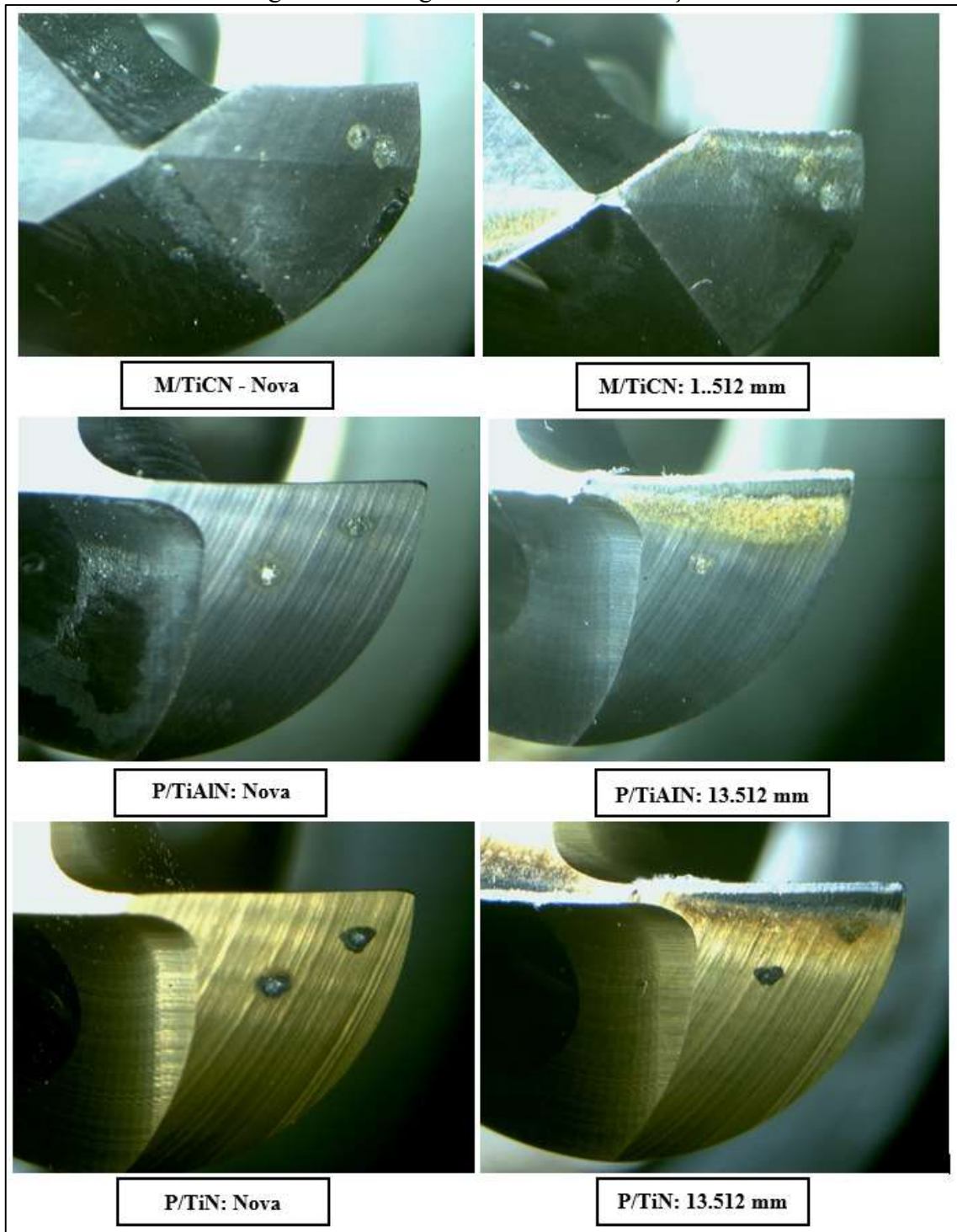
Os resultados obtidos na prática, como demonstrados na Tabela 5, se comprovaram em relação à literatura estudada, pois durante os testes de furação do aço SAE 1010, o que mais apareceu foram os mecanismos de desgaste de abrasão e de adesão e; os tipos de desgaste foram VB e  $VB_{max}$  (Carvalho, 2019; König; Klocke, 2002).

A partir das imagens pôde-se obter algumas conclusões a respeito dos desgastes, considerando-se a durabilidade e o custo *versus* benefício das brocas helicoidais avaliadas. Conforme previsto teoricamente, o maior nível de desgaste se deu no início das furações, devido à adequação ao sistema (Carvalho, 2019; König; Klocke, 2002).

#### 4.4.1 Testes de medições

Os testes de medições foram realizados pelo GUS no Laboratório de Usinagem Mecânica do Bloco D da UCS, utilizando-se o *software* ScopePhoto 2.0.4, cujos resultados estão representados na Figura 40.

Figura 40 – Imagens dos testes de medições



Fonte: Imagens cedida pelo Laboratório de Usinagem Mecânica da UCS.

Nas imagens demonstradas na Figura 40, em específico, foram escolhidas, as três brocas helicoidais novas e as brocas helicoidais após passaram pelos testes de furação em 1.512 mm para a broca helicoidal M/TiCN e; para as brocas helicoidais P/TiAlN e P/TiN, os testes de furação em 13.512 mm considerando-se o gume (G2) respectivamente.

Além disso, após as medições foi traçada uma linha perpendicular, entre as linhas que vão desde a linha horizontal até a extremidade direita do gume e; da extremidade do gume até o ponto do início dos desgastes. Isso foi realizado nas seis imagens ilustradas na Figura 40, sendo que todas as linhas foram traçadas no gume (G2).

Na Tabela 6 são apresentados os resultados dos testes de medições considerando-se as três brocas helicoidais selecionadas para este estudo.

Tabela 6 – Testes de medições das três brocas helicoidais

Número de Furos	Broca M/TiCN		Broca P/TiAlN		Broca P/TiN	
	Gume 2	Gume 2	Gume 2	Gume 2	Gume 2	Gume 2
Nova	4,77 mm	1,68 mm	2,96 mm	1,81 mm	2,41 mm	2,01 mm
1.512	4,63 mm	1,39 mm	-	-	-	-
13.512	-	-	2,73 mm	1,69 mm	2,31 mm	1,80 mm

Fonte: elaborada pelo autor com base nos resultados dos testes de medição (2024).

Verifica-se na Tabela 6 que as proporções de desgastes em milímetros, das duas brocas helicoidais, P/TiAlN e P/TiN, mostraram resultados muito semelhantes (13.512 mm), considerando o gume (G2), quando comparado com os desgastes da broca helicoidal M/TiCN (1.512 mm), mas em contrapartida foi possível realizar uma maior quantidade de furos com as brocas helicoidais, P/TiAlN e P/TiN, em relação à broca helicoidal M/TiCN.

#### 4.5 AVALIAÇÃO DO CUSTO *VERSUS* BENEFÍCIO À EMPRESA

Na Tabela 7 estão demonstrados os preços em R\$ dos três modelos das brocas helicoidais que foram utilizadas nos testes de furação para este estudo.

Tabela 7 – Valores das três brocas helicoidais e testes de furação

Itens	Broca Helicoidal M/TiCN	Broca Helicoidal P/TiAlN	Broca Helicoidal P/TiN
Preço em R\$	R\$ 284,32	R\$ 825,15	R\$ 829,28
Testes de Furação	1.512 mm de furação	Mais de 13.500 mm	

Fonte: elaborada pelo autor (2024).

De acordo com os valores dos custos das brocas mostrados na Tabela 7, a broca helicoidal M/TiCN custa R\$ 284,32 e com a referida broca foram realizados testes de furação até 1.512 mm, sendo que a partir daí necessitou de afiação. Enquanto, as brocas helicoidais, P/TiAlN e P/TiN, custam R\$ 825,15 e R\$ 829,28 respectivamente e, com ambas foi possível realizar mais de 13.500 mm de furação no aço SAE 1010.

Acrescenta-se a isso que, seria necessário que qualquer uma das duas brocas helicoidais (P/TiAlN e P/TiN), atingissem mais de 2,91 vezes a quantidade de furos para que a troca das brocas helicoidais (M/TiCN) apresentasse benefícios à empresa.

Até o final dos testes de furação realizados, neste estudo, as brocas helicoidais dos modelos P/TiAlN e P/TiN furaram 8,94 vezes ( $13.512 \text{ mm} \div 1.512 \text{ mm}$ ) a mais quando comparadas com a broca helicoidal M/TiCN.

Vale ressaltar que o teste de furação não foi conclusivo no que se refere à qual opção apresentou maior durabilidade, pois as práticas foram finalizadas por tempo e não por colapso das brocas helicoidais, ou seja, talvez ainda tais brocas viessem a operar por mais um longo período, ficando ainda mais evidente a vantagem perante à ferramenta utilizada atualmente pela empresa CNS no seu Centro de Usinagem, no caso, a broca helicoidal M/TiCN.

## 5 CONCLUSÃO

O estudo teve por objetivo geral analisar os desgastes de três modelos de brocas helicoidais de metal duro utilizadas no processo de furação de chapas de aço SAE 1010 na empresa CNS.

Para alcançar o objetivo geral proposto foram selecionados os três modelos das brocas helicoidais de metal duro para compor o estudo, sendo uma broca helicoidal no modelo M/TiCN já utilizada na CNS e foram adquiridas duas brocas pela referida empresa: uma broca helicoidal de revestimento P/TiN da marca Kennametal proveniente dos Estados Unidos e; outra broca helicoidal de revestimento P/TiAlN da marca Widia fabricada na China.

Foram realizados os ensaios comparativos de desgastes dos três modelos das brocas helicoidais selecionados. A estimativa do operador era de que a broca helicoidal de revestimento M/TiCN, atualmente utilizada pela empresa CNS, apresentasse uma durabilidade em torno de 3.500 mm, antes que chegasse ao ponto de afiação, porém, ao desenvolver os ensaios foi comprovado pelos testes práticos, que a referida broca não durou nem a metade de tal estimativa, ou seja, possibilitou a furação total de 1.512 mm.

Por sua vez, os ensaios dos testes de furação realizados com as duas brocas helicoidais adquiridas, tanto a broca helicoidal de revestimento P/TiAlN (Widia), quanto a broca helicoidal de revestimento P/TiN (marca Kennametal), os resultados se apresentaram positivos.

Diante disso, sugere-se a substituição das brocas helicoidais de revestimento M/TiCN já utilizadas na CNS pelas brocas helicoidais de revestimento P/TiAlN e P/TiN, pois foram avaliados os mecanismos e os tipos de desgastes das referidas brocas e foi confirmado, o que a literatura indica sobre os mecanismos e os tipos desgastes que ocorrem durante os testes de furação em brocas helicoidais, no caso, a ocorrência dos mecanismos de abrasão e adesão e; os tipos de mecanismos VB e  $VB_{max}$ .

Na avaliação do custo *versus* benefício entre os três modelos de brocas helicoidais selecionados e testados, verificou-se que sim é benéfico para a empresa CNS realizar a substituição das brocas helicoidais, optando por não adquirir mais as brocas helicoidais M/TiCN *online* e passar a utilizar as brocas helicoidais consideradas melhores, no caso, as brocas helicoidais P/TiN (marca Kennametal) e as brocas helicoidais P/TiAlN (Widia).

Como limitações do estudo tem-se os fatores que influenciaram no processo de furação com as brocas helicoidais, dentre eles: as variações dos materiais; as diferentes condições de usinagem e; os modelos adicionais de brocas helicoidais que poderiam ser testados.

No entanto, tais limitações não inviabilizaram a realização do estudo, muito pelo contrário, ao serem substituídas as brocas M/TiCN pelos modelos de brocas P/TiN e P/TiAlN, e levando-se em consideração os impactos ambientais, por exemplo, no setor fabril, as brocas substituídas apresentaram maior durabilidade, o que reduzirá a geração de resíduos e diminuirá a necessidade de descartes frequentes das ferramentas desgastadas.

Além disso, terá como um dos benefícios a redução do uso de fluídos de corte com o uso dos modelos de brocas revestidas em P/TiN e P/TiAlN, cuja prática contribuirá para a sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. S. **Processos de usinagem**: utilização e aplicações das principais máquinas operatrizes. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520070/>. Acesso em: 17 set. 2024.
- ANDRADE, C. L. F. **Análise da furação do ferro fundido vermicular com brocas de metal-duros com canais retos revestidas com TiN e TiAlN**. 2005. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <https://pergamum.ufsc.br/acervo/226284>. Acesso em: 22 maio 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 513 de 05/2013**. Classificação e aplicação de metais duros para a usinagem com arestas de corte definidas – Denominação dos grupos principais e grupos de aplicação. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/24115/abnt-nbriso513>. Acesso em: 06 maio 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 3685 de 11/2017**: Ensaio de vida de ferramenta de ponta única para torneamento. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/12115/abnt-nbriso3685-ensaio-de-vida-da-ferramenta-de-ponta-unica-para-torneamento>. Acesso em: 06 maio 2024.
- BLÖDORN, R. **Estudo do furo e do processo de furação empregado no método do furo cego para medição de tensões residuais**. 2014. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/308407979\\_...tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcn0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoicHVibGljYXRpb24iLCJwcmV2aW91c1BhZ2UiOiJfZGlyZWN0In19](https://www.researchgate.net/publication/308407979_...tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcn0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoicHVibGljYXRpb24iLCJwcmV2aW91c1BhZ2UiOiJfZGlyZWN0In19). Acesso em: 17 set. 2024.
- BORDIN, F. M. **Efeito do tratamento da microgeometria de brocas helicoidais de metal-duro sobre a integridade superficial dos furos**. 2013. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/799/Dissertacao%20Fernando%20Mora%20Bordin.pdf?sequence=2>. Acesso em: 06 maio 2024.
- BORK, C. A. S. **Otimização de variáveis de processo para a furação do aço inoxidável austenítico DIN 1. 4541**. 1995. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/76263/104038.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 abr. 2024.
- CARVALHO, M. P. **Avaliação de tipos e mecanismos de desgastes de broca de metal duro revestidas por TiN e TiAlN na furação do aço ABNT 1045**. 2019. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/25512/1/Avalia%3%a7%3%a3oTiposMecanismos%20.pdf>. Acesso em: 22 maio 2024.
- CASTILLO, W. J. G. **Furação profunda de ferro fundido cinzento Gg25 com brocas de metal-duro com canais retos**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <https://>



repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/101938/224062.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 22 maio 2024.

CATÁLOGO HARTFORD. **Centro de usinagem:** modelo Hartford LG1000. Disponível em: <https://hartfordtechnologies.com/cnc-swiss-machine-capability/>. Acesso em: 22 maio 2024.

COSTA, A. F. **Análise comparativa de ferramentas revestidas por PVD e CVD no torneamento do aço ABNT 8620.** 2016. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/e5a6ec57-4b32-4c21-887c-5be93a4ff05f/content>. Acesso em: 20 maio 2024.

ERTUNC, H. M.; LOPARO, K.A.; OCAK, H. *Tool wear condition monitoring in drilling operations using hidden Markov models (HMMs).* **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, v. 41, p. 1363-1384, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0890695500001127>. Acesso em: 08 junho 2024.

FARIAS, M. C. M. **Tribologia.** In: Palestra. Instituto de Materiais Cerâmicos (IMC), Bom Princípio, Rio Grande do Sul, 18 abr. a 25 abr. 2017. IMC, Disponível em: [https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/18\\_04\\_Palestras\\_Tribologia\\_Profa\\_MCristinaMFarias.pdf](https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/18_04_Palestras_Tribologia_Profa_MCristinaMFarias.pdf). Acesso em: 17 set. 2024.

FAVARO, L. A. **Furação de perfis “U” empregados na manufatura de chassis.** In. Congresso SAE Brasil, Caxias do Sul, 2006. Acesso em: 26 julho 2024.

FERNANDES, M. V. **Estudo da viabilidade da substituição de pastinha de metal duro por CBN.** 2004. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica Automação e Sistemas). Universidade São Francisco. Itatiba, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/16.pdf>. Acesso em: 02 maio 2024.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais.** São Paulo: Editora Blucher, 1970. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521214199/>. Acesso em: 17 abr. 2024.

FITZPATRICK, M. **Introdução à usinagem com CNC.** (Série Tekne). Porto Alegre: Bookman. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580552522/>. Acesso em: 06 maio 2024.

HALEVI, G.; WEILL, R. D. **Principles of process planning: a logical approach.** 1. ed. Chapman & Hall, 1995. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-011-1250-5>. Acesso em: 14 maio 2024.

HOGMARK, S. **Tribological coatings: novel concepts and conditions for successful application.** In: 39th International Conference on Metallurgical Coatings & Thin Films, 2012. Disponível em: <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1003821/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2024.

JASINEVICIUS, Renato Goulart. **Processos de usinagem.** Publicado em: 2016. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2189390/mod\\_resource/content/1/Aula%20%20Fura%C3%A7%C3%A3o\\_2016.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2189390/mod_resource/content/1/Aula%20%20Fura%C3%A7%C3%A3o_2016.pdf), Acesso em: 03 out. 2024.

- KLAUBERG, A. L. **Aplicação de mínimas quantidades de fluidos de corte nos processos de furação e rosqueamento interno de eixos para motores elétricos**. 2009. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30373794.pdf>. Acesso em: 14 maio 2024.
- KLOCKE, F. *Manufacturing processes 1 cutting*. Alemanha: Springer. 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-11979-8>. Acesso em: 17 abr. 2024.
- KÖNIG, W.; KLOCKE, F. *Fertigungsverfahren: drehen, fräsen, bohren*. 5. ed. Berlin: Springer, 1997. Acesso em: 06 maio 2024.
- KÖNIG, W., KLOCKE, F. *Fertigungsverfahren: drehen, fräsen, bohren*. 7. ed. Berlin: Springer Verlag, 2002. Acesso em: 06 maio 2024.
- MACHADO, A. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T.; SILVA, M. B. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208440/>. Acesso em: 10 maio 2024.
- MAGALHÃES, R. **Revestimento de ferramentas: escolhendo a opção certa para uma vida útil mais longa**. Publicado em: 01 maio 2024. Disponível em: [https://compraco.com.br/blogs/industria/revestimento-de-ferramentas-escolhendo-a-opcao-certa-para-uma-vida-util-mais-longa?srsId=AfmBOopyLQeuGCzCtwvom4pBZ\\_MtAYRGBQLAE8BnCWIK3r8Ma2iFnmW9](https://compraco.com.br/blogs/industria/revestimento-de-ferramentas-escolhendo-a-opcao-certa-para-uma-vida-util-mais-longa?srsId=AfmBOopyLQeuGCzCtwvom4pBZ_MtAYRGBQLAE8BnCWIK3r8Ma2iFnmW9). Acesso em: 17 set. 2024.
- MARQUES, F. M. **Avaliação do desempenho de brocas helicoidais de aço rápido revestidas na usinagem de ferro fundido nodular GGG50**. 2012. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2012. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/70677/000878068.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 maio 2024.
- MIRIM, D. C. **Investigação da tensão residual na soldagem laser entre o aço carbono AISI 1010 e o aço inoxidável AISI 304**. 2011. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-17062011-152023/publico/2011MirimInvestigacao.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2024.
- MOCELLIN, F. **Avaliação da usinabilidade do ferro fundido vermicular em ensaios de furação**. 2002. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/82301/183556.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 jun. 2024.
- PAIVA JUNIOR, J. M. F. **Análise do processo de furação do ferro fundido vermicular com brocas de metal-duro com canais retos revestidas com TiN+TiAlN, AlCrN e AlCr-Based**. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: [https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS\\_cde061d7a358d7668781f9baeece7dcf](https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_cde061d7a358d7668781f9baeece7dcf). Acesso em: 08 jun. 2024.
- PASQUALI, G. L. **Influência do fluido lubrificante refrigerante sobre o torque no processo de furação**. 2013. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica). Universidade

de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/1819/TCC%20Giovani%20Lorenzi%20Pasquali.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 jun. 2024.

PIMENTEL, R. **Melhoria do processo de furação de ferro fundido cinzento com brocas helicoidais de metal-duro**. 2014. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30405081.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2024.

RECH, J. *Influence of cutting tool coatings on the tribological phenomena at the tool–chip interface in orthogonal dry turning*. **Surface & Coatings Technology**, n. 200, p. 5132-5139, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897205006353>. Acesso em: 11 jul. 2024.

RODRIGUEZ, C. J. C. *Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing*. 2009. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de Kassel, Alemanha, 2009. Disponível em: <https://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-712-8.volltext.frei.pdf>. Acesso em: 22 maio 2024.

ROSA, S. N. **Avaliação da superfície modificada de brocas de metal duro revestidas pelo processo de deposição física de vapor**. 2013. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalle/909470>. Acesso em: 11 jul. 2024.

SAMBHAV, K.; TANDON, P.; DHANDE, S. G. *Geometric modeling and validation of twist drills with a generic point profile*. **Applied Mathematical Modeling**, n. 36, p. 2384–2403, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X11005348>. Acesso em: 26 abr. 2024.

SANTHANAM, A. T.; TIERNEY, P.; HUNT, J. L. *Cemented carbides*. In: **Metals Handbook**, 10 ed., v. 2. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, Materials Park, ASM International, 1990. p. 950-977. Disponível em: [http://sme.vimaru.edu.vn/sites/sme.vimaru.edu.vn/files/volume\\_2\\_-\\_properties\\_and\\_selection\\_nonf.pdf](http://sme.vimaru.edu.vn/sites/sme.vimaru.edu.vn/files/volume_2_-_properties_and_selection_nonf.pdf). Acesso em: 12 abr. 2024.

SANTOS, S. C. **Furação de ferro fundido cinzento com brocas de metal duro integral**. 1999. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia/MG, 1999. Disponível em: . Acesso em: 01 abr. 2024.

SANTOS, S. C.; SALES, W. F. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber, 2008. 246p. Disponível em: . Acesso em: 01 abr. 2024.

SANTOS, T. C.; SILVA, A. F. T.; SOUZA, G. O.; ANDRADE, M. R. **Utilização de ferramentas de corte revestidas em processos de usinagem**. In: *IV Sintec International Symposium on Innovation and Technology. VIII PTI Research and Innovation Workshop*. out. 2019. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/engineeringproceedings/siintec2019/68.pdf>. Acesso em: 17 set. 2024.

SCHIMIGUEL, J.; NEVES, D. W.; JESUS, I. A.; CAGLIARI, M. A.; MACHADO, O.; CHAVES, E. A. Aplicação de brocas helicoidais de metal duro na melhoria do processo de furação com corte interrompido. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**,

jul., 2016. Disponível em: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/16/brocas.html>. Acesso em: 03 out. 2024.

SONDA, V.; ZEILMANN, R. P. **Avaliação do desgaste de ferramentas de metal-duro na furação do aço AISI P20**. In: XVII Encontro de Jovens Pesquisadores da UCS, set. 2009. Disponível em: [https://www.ucs.br/ucs/pesquisa/jovenspesquisadores2009/trabalhos/poster/e\\_VaniaSonda.pdf](https://www.ucs.br/ucs/pesquisa/jovenspesquisadores2009/trabalhos/poster/e_VaniaSonda.pdf). Acesso em: 22 maio 2024.

SOUSA, José Aécio Gomes de. **Desempenho de ferramentas reafiadas: furação**. 2011. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica. Uberlândia, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14884/1/d.pdf>. Acesso em: 22 maio 2024.

SOUZA, A. J.; MATTES, F. B.; MOGNANA, G. F. **Análise dos esforços de corte gerados na furação de ferro fundido DIN GGG50 para brocas de metal duro com diferentes microgeometrias**. In: VIII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Uberlândia, Minas Gerais, 10-15 ago. 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Andre-Souza-6/publication/280715984\\_...pdf](https://www.researchgate.net/profile/Andre-Souza-6/publication/280715984_...pdf). Acesso em: 17 abr. 2024.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte I**. 3 ed., Florianópolis: UFSC, 1993. Acesso em: 11 jul. 2024.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte II**. 6. ed. 2 v., Florianópolis: UFSC, 2005. Acesso em: 11 jul. 2024.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Usinagem com ferramentas de geometria definida**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Publicado em: 19 ago. 2011. Disponível em: <https://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/PMR2202-AULA%20RS2.pdf>. Acesso em: 03 out. 2024.

TÖNSHOFF, H. K.; SPINTIG W.; KÖNIG, W.; NEISES, A. *Machining of holes, development in drilling technology*. **CIRP Annals**, v. 43, p. 551-561, 1994. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850607605010?via%3Dihub>. Acesso em: 22 maio 2024.

TRENT, E. M.; WRINGT, P. K. **Metal cutting**. 4th: Burtterworth Heinemann, 2000. Acesso em: 15 maio 2024.

UCS – UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL. Soluções para o setor metalmecânico. **Atos & Fatos – Revista da Universidade de Caxias do Sul**, Ano 1, n. 10. p. 8-9. Disponível em: [https://www.ucs.br/ucs/tplNoticias/noticias/1358790346/dezembro\\_2012\\_completo.pdf](https://www.ucs.br/ucs/tplNoticias/noticias/1358790346/dezembro_2012_completo.pdf). Acesso em: 13 jul. 2024.

UCS – UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL. **Laboratório de Usinagem Mecânica**. Disponível em: <https://www.ucs.br/site/portalcursos/infraestrutura/107/3/917/>. Acesso em: 13 jul. 2024.

USINAGEM BRASIL. **Metal duro faz 100 anos: escassez de materiais compromete seu futuro?** Publicado em: 29 abr. 2023. Disponível em: <https://www.usinagem-brasil.com.br/54029-metal-duro-faz-100-anos-escassez-de-materiais-compromete-seu-futuro/>. Acesso em: 22 maio 2024.

USINAGEM BRASIL. **73% das grandes indústrias pretendem investir na produção em 2024**. Publicado em: 16 mar. 2024. Disponível em <https://www.usinagem-brasil.com.br/57281-73-das-grandes-industrias-pretendem-investir-na-producao-em-2024/>. Acesso em: 24 mar. 2024.

VALIM, D. B. **Usinagem**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025110/>. Acesso em: 06 maio 2024.

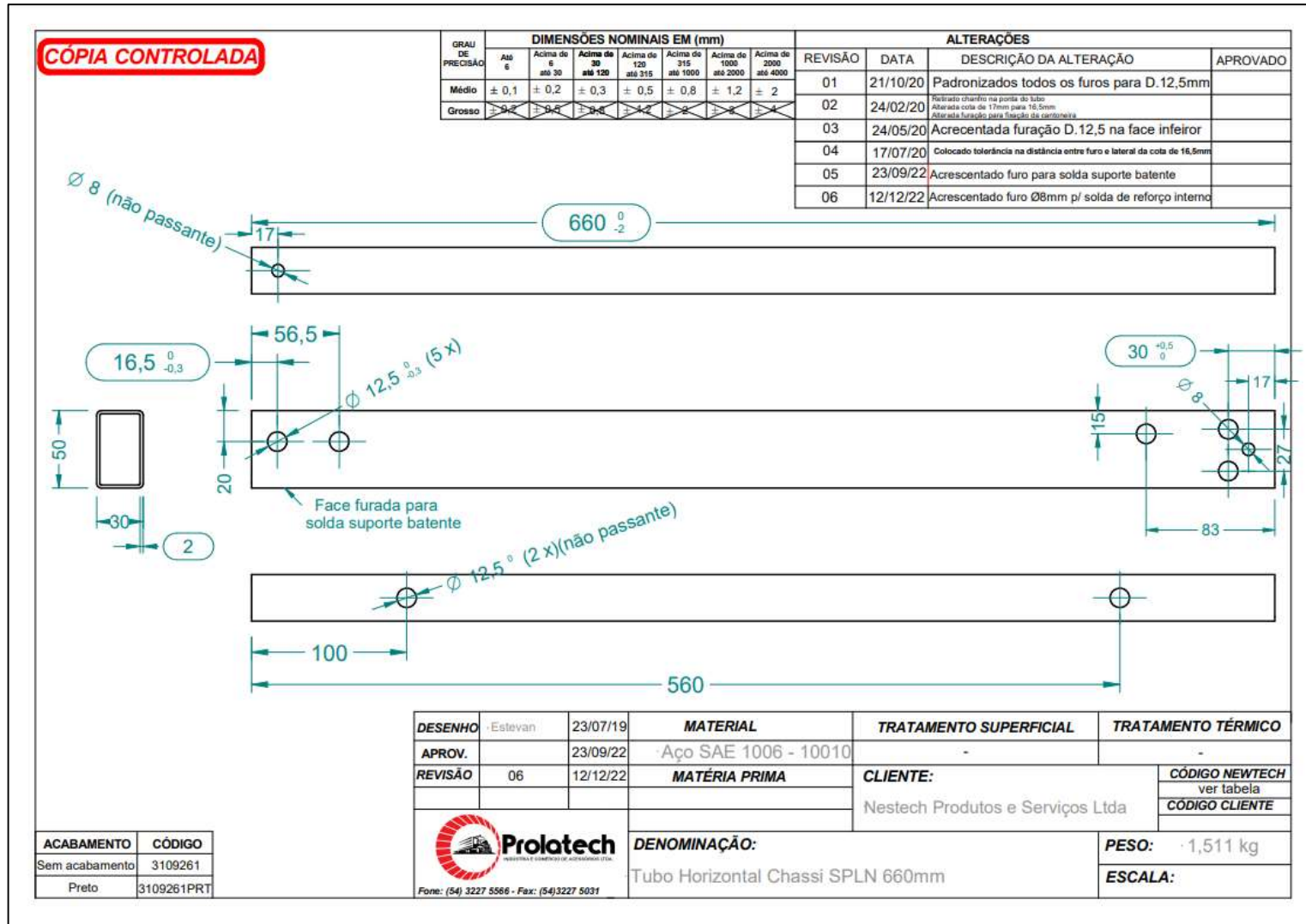
WATSON, A. R. *Geometry of drill elements*. **International Journal of Machine Tool Design and Research**, v. 25, n. 3, p. 209-227, 1985. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0020735785900022>. Acesso em: 15 abr. 2024.

WOLF BRASIL. **Furação na usinagem**: tudo sobre tipos de brocas e aplicações. Disponível em: <https://wolfbrasil.com.br/furacao-na-usinagem/>. Acesso em: 03 out. 2024.

YUSSEFIAN, N.Z.; KOSHY, P.; BUCHHOLZ, S.; KLOCKE, F. *Electro-erosion edge honing of cutting tools*. **CIRP Annals: Manufacturing Technology**, n. 59, p. 215–218, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850610000107>. Acesso em: 05 abr. 2024.


ZEILMANN, R. P. **Materiais e mecânica de corte**. Apostila *Online* (Módulo AVA) da Disciplina de Processos de Usinagem. Publicado em: 07 abr. 2022. Curso de Engenharia Mecânica. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2022. Disponível em: <https://ucs.virtual.ucs.br/>. Acesso em: 06 maio 2024.

### ANEXO A – DIMENSÕES NOMINAIS DO TUBO DE AÇO





## ANEXO B – AQUISIÇÃO BROCA HELICOIDAL P/TiAIN

Untitled Job 26190111



**NOVO™**  
Experience Powering Productivity™



Delivered by  
**MachiningCloud** 

**Autor :**  
daniel zoti Data : 02/07/2024 22:51:28

**Material :**

**Job Description :**

**Máquina :**  
Sem Máquina

**Tool List**

Brand	Tool Name	Catálogo Número	Grade	Número do Pedido	Customer Part #	Descrição
<b>WIDIA</b>	BROCA MD 12,50 3XD SEM RI	VDS201A12500	WU25PD	4144453		BROCA 12,5mm/4921/ 3xD

\*: Additional Item

## BROCA MD 12,50 3XD SEM RI

# WIDIA




## Lista de item

Image m	Catálogo Número	Grade	Número do Pedido	Customer Part #	Descrição
	VDS201A12500	WU25PD	4144453		BROCA 12,5mm/.4921/ 3xD

## Assembly Details

Propriedade	Short Name	Valor	Recommended Range	Unidade
Functional Length	LF	104,85		mm
Tool Protrusion Length	LPR	62		mm
Tool Assembly Length	LTA	59,725		mm
Tool Assembly Height	HTA	0		mm
Tool Assembly Width	WTA	6,25		mm
Overall Length	OAL	107		mm
Connection Diameter Machine Side	DCONMS	14		mm
Usable length	LU	43		mm
Point length	PL	2,15		mm
Cutting Diameter Max	DC	12,5		mm
Number of Flutes	NOF	2		
Point Angle	SIG	140		deg

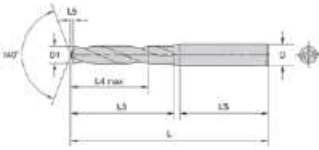
## Applications



## Product Details



## BROCA 12,5mm/4921/ 3xD



Propriedade	Valor	Unidade
Número do Pedido	4144453	
Catálogo Número	VDS201A12500	
Grade	WJ25PD	
Adapter Style Machine Side	Reto-cilíndrico	
D1	12,5	mm
L4 máx	43	mm
L3	60	mm
L5	2,15	mm
L	107	mm
L5	45	mm
D	14	mm

## Perfomace


Propriedade	Short Name	Valor	Recommended Range	Unidade
Material		P0		
Coolant		Flood		
Rotação do eixo	(n)	2037		rev/min
Taxa de penetração	(Vp)	509,25		mm/min
Taxa de remoção de material	(MRR)	62,4944		cm <sup>3</sup> /min
Potência na ferramenta	(Pcut)	2,4017		kW
Torque na ferramenta	(Tcut)	11,259		Nm
Velocidade de corte	(Vc)	80	60 - 100	m/min
Feed per Revolution	(fn)	0,25	0,185 - 0,3588	mm/rev




These calculations are based upon theoretical values and are intended for planning purposes only. Actual results may vary materially. Neither WIDIA nor MachiningCloud, Inc. guarantees the accuracy or the completeness of the calculations, the results and/or any data or rules included therein and WIDIA and MachiningCloud, Inc. shall have no liability for any errors, omissions or interruptions therein. WIDIA and MachiningCloud, Inc. make no warranty, express or implied, as to results to be obtained by any person or entity from the use of NOVO, its MachiningCloud Application or WIDIA's data or rules included therein. The MachiningCloud Application is a product of MachiningCloud, Inc. and WIDIA has no responsibility or liability therefore. The data and


## ANEXO C – AQUISIÇÃO BROCA HELICOIDAL P/TiN

**Untitled Job 26190098**



**NOVO™**  
Experience Powering Productivity™



Delivered by  
**MachiningCloud** 

**Autor :**  
daniel zoti


Data : 02/07/2024 22:48:22

**Material :**

**Job Description :**

**Máquina :**  
Sem Máquina

**Tool List**


Brand	Tool Name	Catálogo Número	Grade	Número do Pedido	Customer Part #	Descrição
	BROCA MD 12,50 3xD SEM RI	8041A12500CPG	KC7325	4150317		BROCA 12.5mm/.4921/ 3xD

\*: Additional Item

**BROCA MD 12,50 3XD SEM RI**



**Lista de item**

Image m	Catálogo Número	Grade	Número do Pedido	Customer Part #	Descrição
	B041A12500CPG	KC7325	4150317		BROCA 12.5mm/.4921/ 3xD

**Assembly Details**

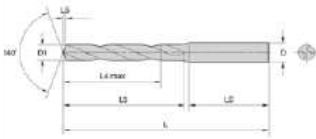
Propriedade	Short Name	Valor	Recommended Range	Unidade
Functional Length	LF	104,85		mm
Tool Protrusion Length	LPR	62		mm
Tool Assembly Length	LTA	59,725		mm
Tool Assembly Height	HTA	0		mm
Tool Assembly Width	WTA	6,25		mm
Overall Length	OAL	107		mm
Connection Diameter Machine Side	DCONMS	14		mm
Usable length	LU	43		mm
Point length	PL	2,15		mm
Cutting Diameter Max	DC	12,5		mm
Number of Flutes	NOF	2		
Point Angle	SIG	140		deg

**Applications**



**Product Details**

**BROCA 12.5mm/4921/ 3xD**



Propriedade	Valor	Unidade
Número do Pedido	4150317	
Catálogo Número	B041A12500CPG	
Grade	KC7325	
D1	12,5	mm
L	107	mm
L3	60	mm
L4 máx	43	mm
L5	2,15	mm
LS	45	mm
D	14	mm

**Perfomace**

Propriedade	Short Name	Valor	Recommended Range	Unidade
Material		P0		
Coolant		Flood		
Rotação do eixo	(n)	2037		rev/min
Taxa de penetração	(Vp)	509,25		mm/min
Taxa de remoção de material	(MRR)	62,4944		cm3/min
Potência na ferramenta	(Pcut)	2,4017		kW
Torque na ferramenta	(Tcut)	11,259		Nm
Velocidade de corte	(Vc)	80	70 - 115	m/min
Feed per Revolution	(fn)	0,25	0,155 - 0,3075	mm/rev



These calculations are based upon theoretical values and are intended for planning purposes only. Actual results may vary materially. Neither Kennametal nor MachiningCloud, Inc. guarantees the accuracy or the completeness of the calculations, the results and/or or any data or rules included therein and Kennametal and MachiningCloud, Inc. shall have no liability for any errors, omissions or interruptions therein. Kennametal and MachiningCloud, Inc. make no warranty, express or implied, as to results to be obtained by any person or entity from the use of NOVO, its MachiningCloud Application or Kennametal's data or rules included therein. The MachiningCloud Application is a product of MachiningCloud, Inc. and Kennametal has no responsibility or liability.