

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ROITHER BEZ BARZAN**

**ANÁLISE DE DESGASTE DE BROCAS DE AÇO-RÁPIDO COM DIFERENTE  
PREPARAÇÃO DO GUME**

**CAXIAS DO SUL**

**2014**

**ROITHER BEZ BARZAN**

**ANÁLISE DE DESGASTE DE BROCAS DE AÇO-RÁPIDO COM DIFERENTE  
PREPARAÇÃO DO GUME**

Trabalho de Estágio II – MEC 0258A,  
apresentado como requisito parcial para  
a conclusão do Curso de Engenharia  
Mecânica na Universidade de Caxias do  
Sul.

Supervisor: Prof. Rodrigo Panosso  
Zeilmann, Dr. Eng.

**CAXIAS DO SUL**

**2014**

2014

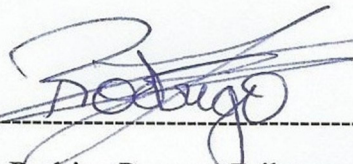
ROITHER BEZ BARZAN

**ANÁLISE DE DESGASTE DE BROCAS DE AÇO-RÁPIDO COM DIFERENTE  
PREPARAÇÃO DO GUME**

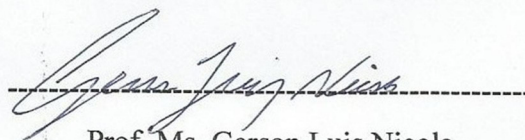
Relatório apresentado como requisito parcial  
para a conclusão do Curso de Engenharia  
Mecânica na Universidade de Caxias do Sul.

**Aprovado em 27 de Novembro de 2014**

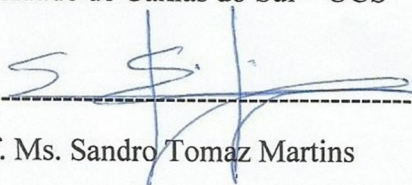
**Banca Examinadora:**



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



Prof. Ms. Gerson Luis Nicola  
Universidade de Caxias do Sul – UCS



Prof. Ms. Sandro Tomaz Martins  
Universidade de Caxias do Sul - UCS

## RESUMO

A furação é o processo de usinagem mais realizado atualmente na indústria, tendo o arredondamento ou preparação do gume como o tema mais abordado entre os fabricantes de ferramentas e grandes empresas de usinagem. Com o objetivo de melhor compreender os efeitos deste tratamento superficial, este trabalho apresenta uma análise comparativa do desgaste de brocas de aço-rápido com micro geometria original em relação as submetidas ao tratamento superficial de acabamento por arraste. Para realização dos ensaios foram utilizadas brocas de 8 mm de diâmetro na furação de um aço endurecido (N2711). Entretanto o tratamento superficial aplicado não resultou em uma melhora significativa na vida útil das brocas, sendo que em ambas a adesão e a abrasão foram os mecanismos de desgaste predominantes.

**Palavras-chave:** furação, broca, aço-rápido.

## **ABSTRACT**

The drilling is the process of machining more currently held in the industry, with rounding or preparation of the edge as the most discussed topic among toolmakers and large machining companies. In order to better understand the effects of surface treatment, this work presents a comparative analysis of the wear steel-fast bits with micro original geometry in relation to the subject to surface finishing treatment by dragging. For the tests were used drill 8 mm diameter hole in a hardened steel (N2711). However the applied surface treatment did not result in a significant improvement in the life of drills, and in both adhesion and abrasion were the predominant wear mechanisms.

**Keywords:** drilling, drill, high-speed steel.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de operações de usinagem.....	10
Figura 2 – Geometria de uma broca helicoidal.....	13
Figura 3 – Danos nas arestas de corte.....	14
Figura 4 – Métodos de tratamento de gume.....	20
Figura 5 – Representação do gume de uma ferramenta.....	20
Figura 6 – Aspectos da geometria de corte.....	21
Figura 7 – Cinemática do processo de furação.....	23
Figura 8 – Evolução do desgaste de brocas.....	24
Figura 9 – Especificações da máquina utilizada.....	25
Figura 10 – Broca helicoidal.....	26
Figura 11 – Características da máquina Otec DF-3 Tool.....	26
Figura 12 – Corpo de Provas.....	27
Figura 13 – Brocas utilizadas nos pré-testes.....	28
Figura 14 – Curvas de comportamento de desgaste.....	30
Figura 15 – Curvas de comportamento de desgaste padrão.....	30
Figura 16 – Evolução do desgaste da aresta 1 da broca B2.....	31
Figura 17 – Evolução do desgaste da aresta 2 da broca B5.....	31
Figura 18 – Microlascamentos em uma broca de aço-rápido nova.....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química do aço N2711.....	27
Tabela 2 – Parâmetros de corte utilizados no ensaio de furação. ....	28
Tabela 3 – Desgaste dos gumes em relação ao número de furos. ....	29

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Causas de desgastes de ferramentas. ....	16
---	----



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO AO ASSUNTO .....</b>	<b>10</b>
1.1	AMBIENTE DE ESTÁGIO.....	10
1.2	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO .....	10
1.3	OBJETIVOS.....	11
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>12</b>
2.1	FURAÇÃO.....	12
<b>2.1.1</b>	<b>Brocas Helicoidais .....</b>	<b>12</b>
2.2	DESGASTE DA FERRAMENTA .....	12
<b>2.2.1</b>	<b>Tipos de Desgaste .....</b>	<b>13</b>
2.2.1.1	Desgaste Frontal.....	13
2.2.1.2	Desgaste de Cratera.....	14
2.2.1.3	Deformação Plástica das Arestas de Corte.....	14
2.2.1.4	Lascamento.....	15
2.2.1.5	Trincas.....	15
2.2.1.6	Quebra .....	15
<b>2.2.2</b>	<b>Mecanismos de Desgaste.....</b>	<b>15</b>
2.2.2.1	Abrasão.....	16
2.2.2.2	Aderência .....	17
2.2.2.3	Difusão .....	18
2.2.2.4	Oxidação.....	19
2.3	PREPARAÇÃO DO GUME.....	19
<b>2.3.1</b>	<b>Aumento da Vida Útil .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Aumento das Forças.....</b>	<b>22</b>
2.4	MATERIAL DA PEÇA .....	23
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>25</b>
3.1	MÁQUINAS .....	25
3.2	FERRAMENTAS .....	26
3.3	CORPO DE PROVA.....	27
3.4	PRÉ-TESTES .....	28

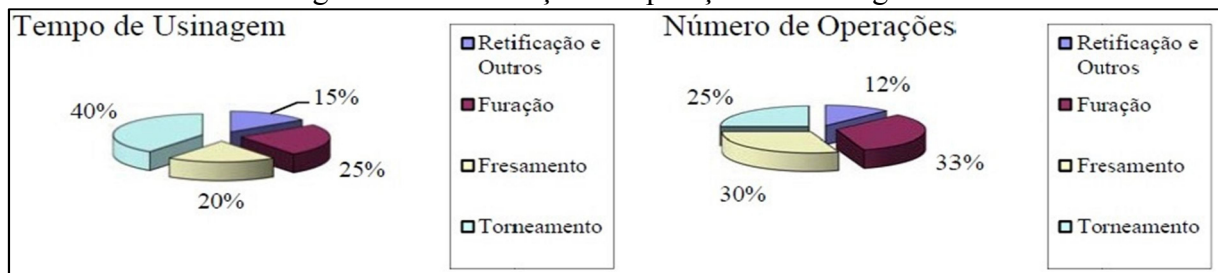
3.5	CONDIÇÕES DE USINAGEM.....	28
4	<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>29</b>
5	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>33</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>34</b>

## 1 INTRODUÇÃO AO ASSUNTO

O processo de furação com brocas helicoidais de aço-rápido é utilizado em mais da metade das operações de usinagem de furos na indústria. A utilização do aço-rápido é grande principalmente devido ao fato de o processo de furação não obter os mesmos avanços tecnológicos vistos no fresamento e no torneamento, no que diz respeito ao maquinário e materiais utilizados nas ferramentas, já que a utilização de brocas de metal-duro com diâmetro pequeno exigem altíssimas velocidades de corte para sua utilização (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2003). Na Figura 1 pode-se observar uma distribuição das operações de usinagem comuns na indústria.

Estima-se que 60% de todas as aplicações de furação na indústria referem-se a furos curtos, com profundidade até 2,5 vezes o diâmetro da ferramenta. No entanto em diversos casos, é necessário profundidades de furos maiores que 5 vezes o diâmetro da ferramenta, essa característica de furação é classificada como furação profunda (CASTILLO, 2005).

Figura 1 – Distribuição de operações de usinagem.



Fonte: Bordinassi (2004).

### 1.1 AMBIENTE DE ESTÁGIO

A empresa Inova Indústria de Matrizes iniciou as atividades no ano de 2003 e atua na fabricação de matrizes de injeção de plásticos, alumínio e zamac. Dentre as diversas áreas de atuação da empresa, destacam-se as linhas: automotiva, agrícola, brinquedos e linha branca.

### 1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O Estágio surge a partir de uma solicitação feita pelo setor de usinagem da empresa Inova Indústria de Matrizes, devido à baixa vida útil de brocas na execução de furos em machos e cavidades de aço N2711 temperado e revendido com dureza variando de 38 HRC á 42 HRC, uma vez que esse material é largamente utilizado e difundido na fabricação de moldes e matrizes de diversas linhas.

Atualmente a furação é feita em centros de usinagem CNC com brocas helicoidais de aço-rápido com afiação convencional e o desempenho das mesmas em relação a sua vida útil é considerado insatisfatório.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

A realização deste trabalho tem como objetivo comparar dois conceitos de brocas helicoidais de aço-rápido utilizadas para furação de aço N2711, analisando a influência da preparação do gume na vida útil da mesma.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a) investigar a fundamentação teórica relativa às vantagens da utilização de brocas com arredondamento definido do gume;
- b) realizar uma comparação entre dois tipos de brocas sendo uma com afiação convencional e outra que passa por um tratamento superficial de acabamento por arraste, tendo como objetivo principal a comparação do desgaste entre estas ferramentas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica constam informações referentes à operação de furação com brocas helicoidais e a relação existente entre o acabamento superficial da broca e a sua vida útil, bem como suas particularidades.

### 2.1 FURAÇÃO

Segundo Diniz, Marcondes e Coppini (2003), o processo de furação é um dos processos mais utilizados na indústria manufatureira. A grande maioria das peças de qualquer tipo de indústria tem pelo menos um furo, e somente uma parte muito pequena dessas peças já vem com o furo pronto do processo de obtenção da peça bruta (fundição, forjamento, etc.).

Em geral, as peças precisam ser furadas em cheio ou terem seus furos aumentados através do processo de furação. Isso torna o estudo visando a otimização do processo de furação muito importante.

De acordo com Stemmer (2005), na furação devem-se levar em conta os seguintes fatores: diâmetro do furo, profundidade, tolerâncias de forma e de medida e volumes de produção. As operações de furação se realizam sempre sob condições relativamente severas, pois a velocidade de corte não é uniforme, mas varia desde zero no centro do furo até um máximo na periferia e também porque o fluido de corte que deve atuar como refrigerante e lubrificante, bem como meio de transporte dos cavacos, chega com dificuldade ao gume da ferramenta, onde é mais necessário.

Atualmente no Brasil, mais da metade das operações de furação ainda são realizadas com brocas helicoidais de aço-rápido com ou sem camada de cobertura (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2003).

#### 2.1.1 Brocas Helicoidais

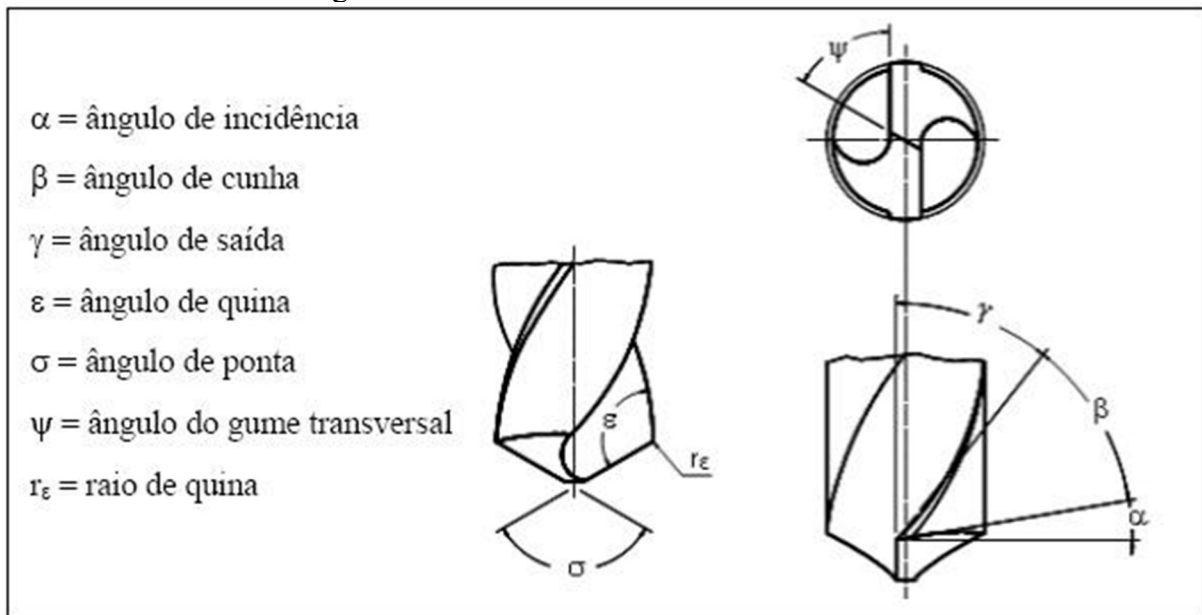
São as ferramentas mais utilizadas na execução de furos. Os conceitos básicos e a nomenclatura das diversas partes das brocas helicoidais são definidos pela norma ABNT - TB-111 (DIN 412). Na Figura 2 é mostrada a geometria de uma broca helicoidal.

### 2.2 DESGASTE DA FERRAMENTA

Segundo Patiño, Marciano e Souza (2006), todas as ferramentas de corte sofrem desgaste durante a usinagem, até chegarem ao fim da vida útil. O desgaste da ferramenta é inevitável e tem um efeito negativo sobre o processo de usinagem, ele resulta da interação

entre a ferramenta e a peça, e depende das condições de corte. São produto da combinação de fatores mecânicos, térmicos, químicos e abrasivos que mudam a geometria da aresta de corte, esse efeito converte-se em um dos modos de falha mais importantes de um processo de usinagem.

Figura 2 – Geometria de uma broca helicoidal.



Fonte: König e Klocke (1997).

Os valores recomendados por fabricantes para o desgaste admissível para brocas variam de 0,2mm e 0,4mm, esses valores limites superiores para o desgaste de flanco estão associados à perda de capacidade de obtenção de furos, conforme tolerâncias previamente especificadas. O desgaste se dá de forma progressiva e acaba por deixar a ferramenta sem habilidade de cortar o material com eficiência.

### 2.2.1 Tipos de Desgaste

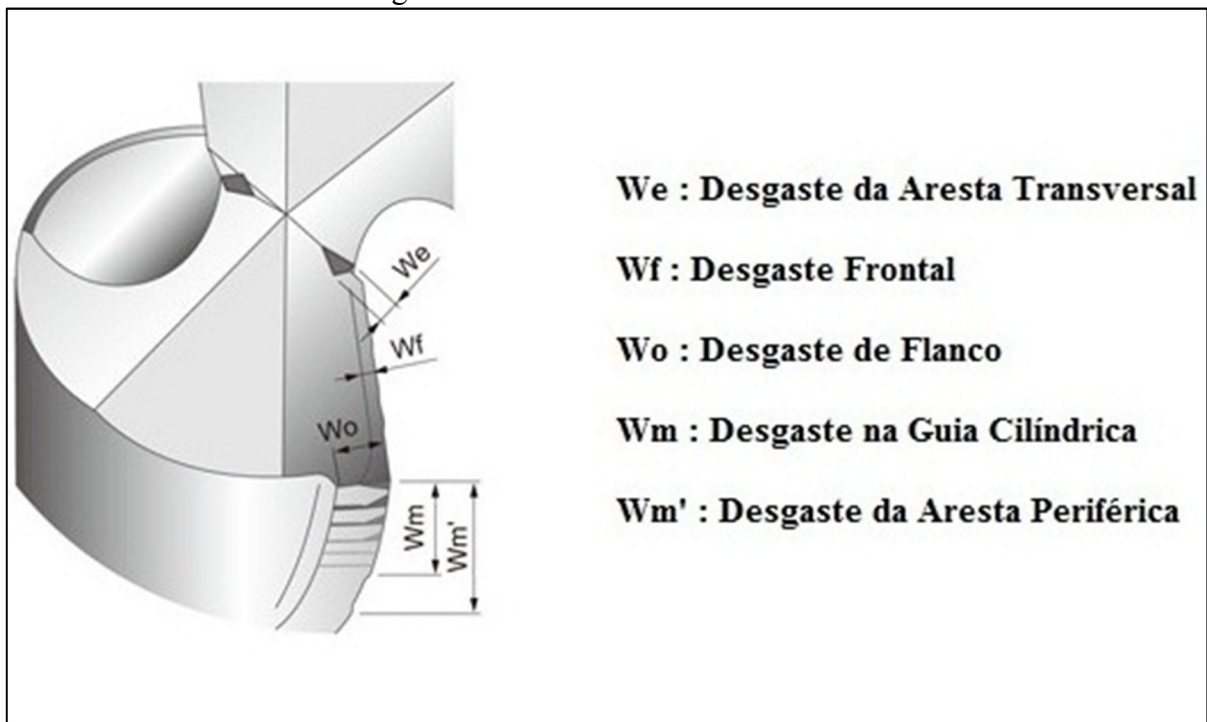
São diversos os tipos de desgastes que acontecem em uma ferramenta de usinagem. Dentre eles, Diniz (2003) cita que os principais são: desgaste frontal, desgaste de cratera, deformação plástica da aresta de corte, lascamento, trincas e quebra. Na Figura 3 são mostrados alguns danos causados a aresta de corte de uma broca.

#### 2.2.1.1 Desgaste Frontal

De acordo com Stemmer (2005), o desgaste frontal é a faixa desgastada no flanco da ferramenta, sendo que um raio de quina adequado pode diminuir a largura deste desgaste,

quando a marca deste desgaste for irregular é devido normalmente a um micro lascamento do gume. Já para Diniz (2003), este desgaste ocorre na superfície de folga da ferramenta, causado pelo contato entre ferramenta e peça, sendo o tipo de desgaste mais comum e incentivado pelo aumento da velocidade de corte.

Figura 3 – Danos nas arestas de corte.



Fonte: Adaptado de Mitsubishi (2014).

#### 2.2.1.2 Desgaste de Cratera

O desgaste de cratera é o tipo de desgaste que ocorre na superfície de saída da ferramenta, causado pelo atrito entre ferramenta e cavaco, sendo que o crescimento do desgaste de cratera resulta na quebra da ferramenta, quando tal desgaste se encontra com o desgaste frontal. (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2003).

#### 2.2.1.3 Deformação Plástica das Arestas de Corte

Segundo Diniz, Marcondes e Coppini (2003), é um tipo de avaria da ferramenta causada pela pressão aplicada a ponta da ferramenta somada a alta temperatura, gera deformação plástica da aresta de corte. O crescimento dessa deformação pode gerar a quebra da aresta de corte, pode ser evitada pelo emprego de uma ferramenta com maior dureza a quente e maior resistência a deformação plástica ou pela mudança das condições de usinagem.

#### 2.2.1.4 Lascamento

É um tipo de avaria da ferramenta. Ao contrário do desgaste frontal e de cratera, que retiram continuamente partículas muito pequenas da ferramenta, no lascamento partículas maiores são retiradas de uma só vez. Ocorrem principalmente em ferramentas com material frágil e/ou quando a aresta de corte é pouco reforçada. Prejudicam o acabamento superficial da peça e, se continuam crescendo, provocam a quebra da ferramenta (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2003).

#### 2.2.1.5 Trincas

Para Diniz, Marcondes e Coppini (2003), é outro tipo de avaria da ferramenta causada pela variação da temperatura e/ou pela variação de esforços mecânicos, tais como: corte interrompido, acesso irregular do fluido de corte e variação da espessura de corte. O crescimento das trincas leva a quebra da ferramenta, um procedimento muito usual para evitar a formação de trincas é escolher uma ferramenta mais tenaz.

#### 2.2.1.6 Quebra

De acordo com Diniz, Marcondes e Coppini (2003) todos os desgastes e avarias da ferramenta ao crescerem podem gerar a quebra da ferramenta, porém algumas vezes a quebra pode ocorrer inesperadamente devido alguns fatores, como: ferramenta muito dura, carga excessiva sobre a ferramenta, raio de ponta inadequado, ângulo de ponta ou de cunha pequenos, corte interrompido, parada instantânea do movimento de corte e entupimento dos canais de expulsão do cavaco.

### **2.2.2 Mecanismos de Desgaste**

No Quadro 1 resumem-se as principais causas dos diversos desgastes e avarias da ferramenta e as ações a serem tomadas no caso de um desses estar ocorrendo de maneira mais acentuada. Segundo Castillo (2005), os diversos tipos de desgaste agem simultaneamente, de forma que tanto sua causa como seu efeito dificilmente podem ser distinguidos entre si, resultando em uma complexa interação de vários fatores de desgaste. Para que se possa aumentar a vida das ferramentas é indispensável conhecer as causas de desgaste, como fatores principais de desgaste podemos citar os seguintes.



Quadro 1 – Causas de desgastes de ferramentas.

<b>Tipo de Desgaste e/ou avaria</b>	<b>Possíveis Causas</b>	<b>Ações para Minimização</b>
Desgaste de Flanco	-Velocidade de corte muito alta. -Resistência ao desgaste da ferramenta insuficiente. -Abrasão -Aresta postiça de corte	-Redução da velocidade de corte. -Seleção de classe de ferramenta mais resistente ao desgaste.
Desgaste de Entalhe	-Oxidação	-Seleção de fluido de corte com agentes antioxidantes. -Redução da velocidade de corte.
Desgaste de Cratera	-Difusão	-Seleção de classe de ferramenta que possua óxido de alumínio.
Deformação Plástica	-Altas temperaturas combinadas com altas pressões de corte.	-Seleção de classe de ferramenta com mais dureza a quente. -Redução da velocidade de corte.
Trincas de origem Mecânica	-Variação excessiva de esforço na aresta de corte.	-Seleção de uma classe de ferramenta mais tenaz. -Redução do avanço. -Suavização do primeiro contato da ferramenta com a peça. -Aumento da estabilidade.
Trincas de origem Térmica	-Excessiva variação de temperatura	-Seleção de classe de ferramenta mais tenaz. -Aplicação do fluido de corte em abundância ou não aplicação.
Lascamento	-Classe da ferramenta muito frágil. -Geometria da ferramenta muito fraca. -Choques da ferramenta com a peça.	-Seleção de classe de ferramenta mais tenaz. -Aumento do ângulo de ponta, raio de ponta e/ou do ângulo de cunha. -Suavização do primeiro contato da ferramenta com a peça.

Fonte: Adaptado de Diniz (2003).

#### 2.2.2.1 Abrasão

Segundo Stemmer (2005), abrasão é o arrancamento de finas partículas de material, em decorrência do escorregamento sob alta pressão e temperatura entre a peça e ferramenta. Esta forma de desgaste aumenta com o número de inclusões e partículas duras no aço (como por exemplo, carbonetos e óxidos). A presença de alumínio no aço, formando partículas duras e abrasivas de  $Al_2O_3$ , é especialmente nociva. A resistência à abrasão depende essencialmente

da dureza do material da ferramenta, sendo que o aumento da velocidade de corte resulta num aumento considerável da velocidade de desgaste, em virtude do efeito de impacto e da redução da resistência da ferramenta à abrasão em temperaturas de trabalho mais altas.

Já para Diniz, Marcondes e Coppini (2003), a abrasão é uma das principais causas de desgaste da ferramenta, tanto o desgaste frontal quanto o desgaste de cratera podem ser gerados pela abrasão, porém ela se faz mais proeminente no desgaste frontal, já que a superfície de folga atrita com um elemento rígido que é a peça, enquanto que a superfície de saída atrita com um elemento flexível que é o cavaco. O desgaste gerado pela abrasão é incentivado pela presença de partículas duras no material da peça e pela temperatura de corte, que reduz a dureza da ferramenta. Assim, quanto maior a dureza a quente da ferramenta, maior sua resistência ao desgaste abrasivo. Às vezes, partículas duras arrancadas de outra região da ferramenta por aderência ou mesmo por abrasão e arrastadas pelo movimento da peça, causam o desgaste abrasivo em uma área adjacente da ferramenta.

#### 2.2.2.2 Aderência

A aderência entre o material da peça e as asperezas superficiais da ferramenta se deve à ação das altas temperaturas, pressões presentes na zona de corte e ao fato de que a superfície inferior do cavaco, recém-arrancada, apresenta-se limpa, sem camadas protetoras de óxidos e, portanto, quimicamente muito ativa. A prova de que tais aderências se podem formar é o gume postiço, formado por partículas que se soldam na face da ferramenta e apresentam um elevado grau de deformação a frio, isto é, estão encruadas, duras e resistentes. Elas dificultam o deslizamento do cavaco, aumentando o coeficiente de atrito na face e provocando um maior recalque do cavaco. O aumento do atrito provoca um aumento progressivo da força de deslizamento do cavaco, até que as partículas soldadas são arrancadas. O arrancamento destas partículas pode se dar por cisalhamento das asperezas da ferramenta, por separação na solda ou por cisalhamento dentro das próprias partículas (STEMMER, 2005).

Conforme o autor citado acima, de modo geral, o deslocamento de partículas encruadas e duras separadas do gume postiço sob alta pressão provocam desgaste abrasivo no flanco e na face da ferramenta. O gume postiço ocorre em baixas velocidades de corte, o desgaste aumenta, inicialmente, com a velocidade, pois vão se alcançando temperaturas e pressões que favorecem a aderência. Já em velocidades mais elevadas, a temperatura sobe a ponto de amolecer as partículas aderidas, que recristalizam, enquanto o material da ferramenta, muito mais resistente ao calor, não é afetado. Não havendo mais condições de

formação do gume postiço, o desgaste da ferramenta diminui, bem como o recalque do cavaco, pois o mesmo desliza mais facilmente pela face da ferramenta.

Para Ferraresi (1977), o gume postiço altera as relações geométricas da formação do cavaco, desempenhando a função da aresta cortante, isto só é possível graças ao forte encruamento das partículas do material que constituem a aresta postiça de corte. Observa-se que as durezas medidas na aresta postiça correspondem as do material temperado, a origem destas durezas elevadas decorre do grau de deformação excepcionalmente elevado do material.

De acordo com Diniz, Marcondes e Coppini (2003), o fenômeno da aderência está presente na formação da aresta postiça de corte, mas pode-se ter desgaste por aderência mesmo sem a formação da aresta postiça. Tem grande influência na diminuição desse tipo de desgaste a utilização adequada do fluido de corte (principalmente com o efeito lubrificante) e o recobrimento da ferramenta com materiais de baixo coeficiente de atrito como TiN, TiCN, AlTiCN, entre outros.

#### 2.2.2.3 Difusão

Segundo Stemmer (2005), a difusão entre a ferramenta e o cavaco é um fenômeno microscópico ativado pela temperatura na zona de corte. A difusão no estado sólido consiste na transferência de átomos de um metal para outro, dependendo da temperatura, da duração do contato e da afinidade físico-química dos dois metais envolvidos na zona de fluxo.

Ainda segundo o autor, a difusão ocorre em temperaturas mais elevadas, em que as moléculas adquirem certa mobilidade. Para ferramentas de aço carbono e aço rápido, esta forma de desgaste não tem significação, pois a faixa de temperaturas de difusão é bem mais alta que a temperatura de amolecimento da ferramenta, diferente é a situação nos metais duros, nos quais podem ocorrer fenômenos de difusão em temperaturas na faixa de 700 a 1300°C.

Já para Zeilmann (2003), a difusão consiste na ocorrência de uma transferência de átomos de uma área de maior concentração atômica para outra de menor concentração, entre superfícies que possuem afinidade química, esta transferência pode levar ao enfraquecimento da ferramenta, por exemplo, pela formação de carbonetos complexos de tungstênio. A velocidade de difusão é proporcional à temperatura, e conseqüentemente, o enfraquecimento estrutural da ferramenta se dá segundo as isotermas de aquecimento, propiciando um desgaste na forma de cratera.

#### 2.2.2.4 Oxidação

De acordo com Diniz (2003), altas temperaturas e a presença de ar e água (contida nos fluidos de corte) geram oxidação para a maioria dos metais. O tungstênio e o cobalto durante o corte formam filmes de óxidos porosos sobre a ferramenta, que são facilmente levados embora pelo atrito, gerando desgaste. Porém, alguns óxidos como o óxido de alumínio, são mais duros e resistentes, assim, alguns materiais de ferramenta desgastam-se mais facilmente por oxidação. O desgaste por oxidação se forma especialmente nas extremidades do contato cavaco-ferramenta, devido ao acesso de ar nesta região, sendo uma possível explicação para desgaste de entalhe.

Segundo Castillo (2005), a oxidação frequentemente é responsável pela deterioração do gume secundário de corte, fazendo com que piore rapidamente a qualidade da superfície das peças usinadas e, portanto, a vida das ferramentas. O metal duro já inicia sua oxidação na faixa de temperatura de 700 a 800 °C, sendo que os metais duros compostos principalmente por carboneto de tungstênio e cobalto oxidam mais facilmente do que aquelas ferramentas com adição de carboneto de titânio e outros carbonetos.

### 2.3 PREPARAÇÃO DO GUME

A preparação do gume é conhecida como uma importante operação para aumentar a produtividade e a qualidade de usinagem nas peças. Conforme o processo aplicado, a vida útil da ferramenta pode aumentar em até 500%. O arredondamento correto do gume também pode aumentar a micro dureza da camada superficial da peça usinada. O desafio na preparação do gume consiste em gerar um arredondamento uniforme e dirigido, e esse arredondamento deve estar ajustado ao material a ser usinado (DENKENA, LEON, REHE, 2011).

Para Biermann e Terwey (2008), a preparação do gume antes do revestimento permite estabilizar as arestas e aumentar a vida útil das ferramentas. Por isso são usados diversos processos de preparação: retificação, escovação, polimento com pó magnético, jateamento úmido, micro jateamento e tecnologias de laser. Por meio de um arredondamento definido, é possível melhorar a estabilidade do gume, a resistência ao desgaste e a estabilidade do processo. Alguns dos métodos mais utilizados para tratamento do gume estão representados na Figura 4, divididos pelas fontes de energia utilizadas.

De acordo com Rombaldi e Zeilmann (2011), ferramentas polidas apresentam melhor uniformidade da superfície e melhor condição do acabamento do gume e da quina em

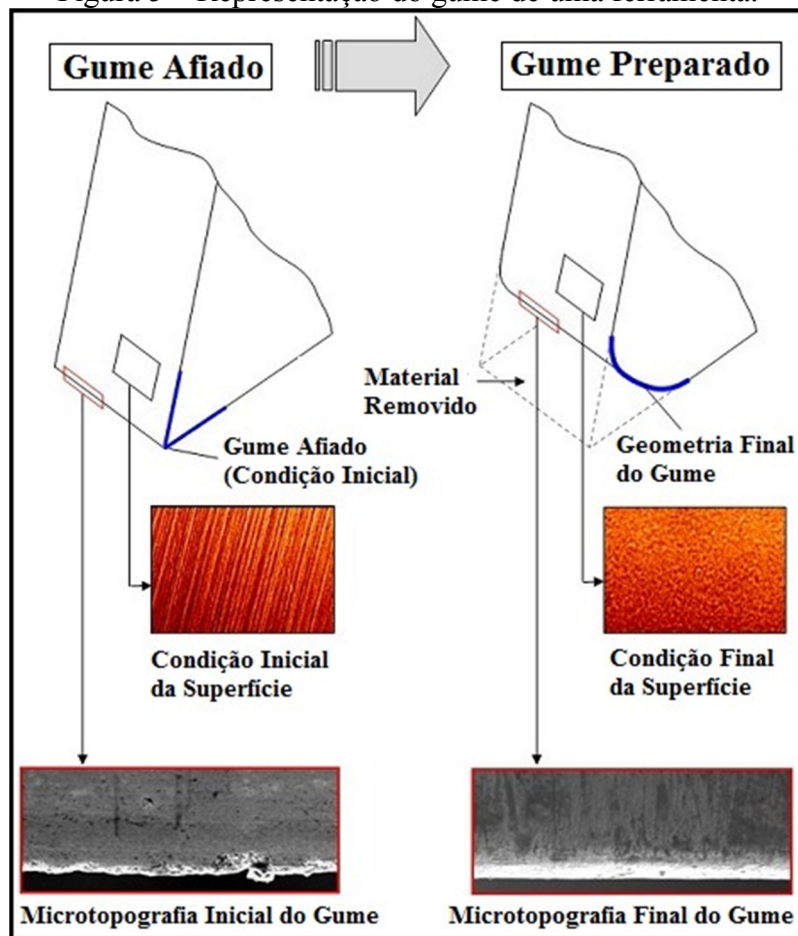
relação a ferramenta sem polimento. A Figura 5 ilustra a representação do gume da ferramenta antes e depois do tratamento.

Figura 4 – Métodos de tratamento de gume.



Fonte: Adaptado de Rodriguez (2009).

Figura 5 – Representação do gume de uma ferramenta.

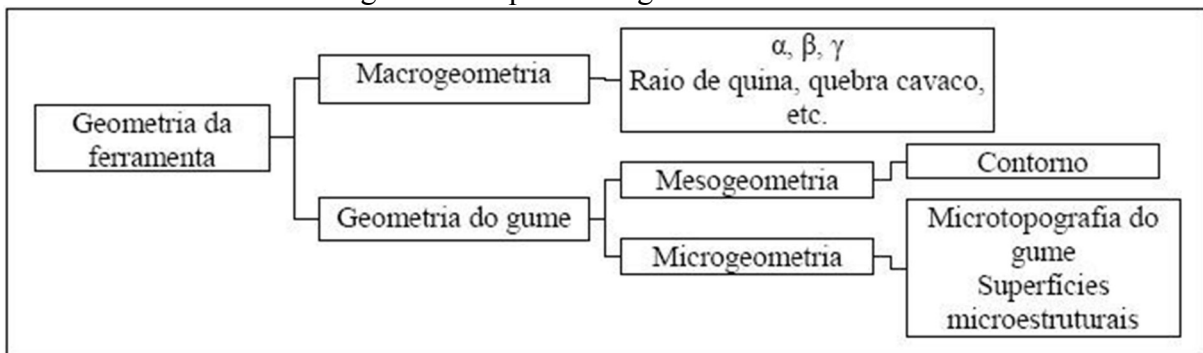


Fonte: Adaptado de Rodriguez (2009).

### 2.3.1 Aumento da Vida Útil

Para Rodriguez (2009) a preparação do gume desempenha um papel importante no período de vida útil da ferramenta, especialmente no primeiro estágio de usinagem, as consequências do primeiro contato entre a ferramenta e a peça definem o desempenho posterior da ferramenta de corte. Em geral observou-se que o gume sem preparação falha na primeira etapa da usinagem, gerando um desgaste acelerado do flanco da ferramenta. O autor ainda afirma que a preparação do gume agrega valor e qualidade para as ferramentas de corte, por meio de modificações na meso e microgeometria da borda, com baixo investimento em comparação a outros processos da cadeia produtiva. A Figura 6 apresenta os aspectos da geometria de corte.

Figura 6 – Aspectos da geometria de corte.



Fonte: Rodriguez (2009).

Segundo Rodriguez (2009 apud BORDIN, 2013, p. 23), a macrogeometria define ângulos de corte, raios de quina, quebra cavacos e outras superfícies funcionais e características geométricas relacionadas ao escoamento do cavaco, refrigeração e lubrificação. Na mesogeometria são considerados os contornos correspondentes a superfície convexa do gume gerada por processos de tratamento de gumes, em uma ordem de magnitude de 1 a 100  $\mu\text{m}$ . E por fim, microgeometrias incluem a microtopografia do gume e a microtopografia das superfícies (flanco e face) nas redondezas do gume, em magnitudes inferiores a 1  $\mu\text{m}$ .

Em trabalho apresentado por Biermann e Terwey (2008), os autores utilizaram um processo de jateamento com grãos abrasivos como meio de preparação do gume de uma broca de metal duro, com diâmetro de 14 mm, atingindo assim um arredondamento controlado do gume, com o objetivo de aprimorar o processo de furação em alta velocidade. Os autores realizaram a furação em Aço AISI 1045, com  $v_c=40$  m/min e  $f=0,375$  mm/rev. O efeito mais significativo do arredondamento do gume é o aumento da vida útil da ferramenta.

Em outro estudo, apresentado por Zhou, Cheung e Li (2008), foi utilizado a técnica de polimento magnético para preparar o gume de brocas de metal duro, eliminando assim micro rebarbas provenientes da afiação convencional, criando um micro raio no gume. Os testes foram realizados com o material DIN 40CrMnNiMo8-6-4, com dureza média de 31 HRC, realizando a furação em um centro de usinagem CNC. Os autores chegaram à conclusão que o polimento magnético é uma alternativa simples e eficaz para a preparação do gume, sendo que esta preparação prolongou efetivamente a vida da ferramenta, além de melhorar o acabamento dos furos.

Para Biermann, Denkena, et al (2013) a estabilidade aumentada do gume preparado favorece um tempo de vida útil mais longo, em comparação com uma broca apenas afiada. Por outro lado, a preparação do gume pode melhorar a aderência de uma camada de revestimento resistente ao desgaste, quando aplicada posteriormente.

### **2.3.2 Aumento das Forças**

Com a medição da força de avanço, pode ser tirada uma conclusão direta sobre a influência da preparação do gume sobre o processo de furação, a ferramenta retificada apresenta a menor carga mecânica. Nas ferramentas preparadas, independentemente do processo de preparação, apresentam-se valores de forças de avanço comparáveis. Com o aumento do tamanho do arredondamento, há um leve acréscimo da força de avanço no início do processo de furação. Por isso, é possível concluir que o gume preparado necessita de mais energia de deformação para arrancar os cavacos do material (BIERMANN, et al, 2011).

Em estudo realizado por Biermann, Terwey e Wolf (2013), no processo de usinagem o gume da ferramenta em contato direto com a peça é submetido a elevadas cargas mecânicas, o que representa o ponto inicial para o desgaste da ferramenta. Em testes realizados para determinar a influência da condição do gume sobre a carga mecânica da ferramenta, foram usadas brocas helicoidais de metal duro inteiriças do tipo HC K40UF com 14 mm de diâmetro, preparadas pelo processo de jateamento com água a alta pressão. Ao lado das brocas com diferentes arredondamentos, foi usada uma ferramenta afiada.

O maior arredondamento do gume permite que uma parte do material da peça que se encontra diretamente diante do arredondamento do gume seja prensada sob alta pressão nos cavacos que vão se formado. Esses processos de esmagamento e de deformação, que aumentam com o arredondamento do gume, também promovem maiores cargas mecânicas.

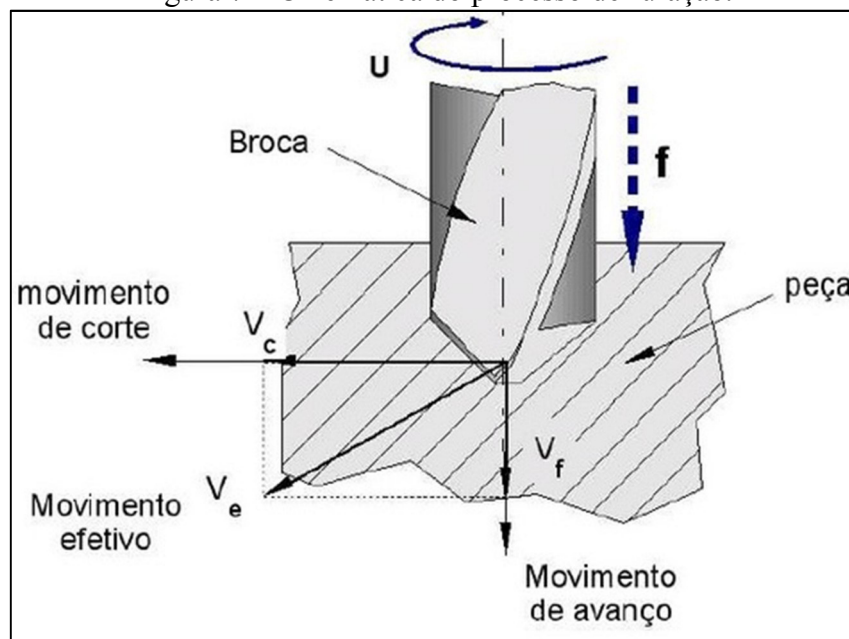
Foram feitos testes com brocas afiadas e com o gume preparado de diversas formas, com as quais foi demonstrado que a configuração do gume exerce uma influência significativa

sobre a carga mecânica da ferramenta na usinagem, a carga aumenta com o crescimento do arredondamento do gume, devido a um desvio do material diante do gume com maior arredondamento.

O aumento mais nítido das forças em função do arredondamento do gume foi determinado na região da aresta transversal. Na região da quina, a influência sobre a carga mecânica é menor. A micro configuração do gume quase não exerce influência sobre a orientação da força de usinagem no plano x-y. A Figura 7 representa a cinemática do processo de furação.

Os testes subsequentes mostram que um gume arredondado oferece mais absorção da carga mecânica predominante do que um gume afiado, pois a carga é distribuída em uma superfície maior. Pode-se deduzir dos testes que a região da ponta de corte deveria apresentar maior arredondamento. Como comparação, com pequeno aumento da carga mecânica e do consumo de energia do processo, podem ser obtidas vantagens significativas de tempos de vida útil.

Figura 7 – Cinemática do processo de furação.



Fonte: Geocities (2014).

## 2.4 MATERIAL DA PEÇA

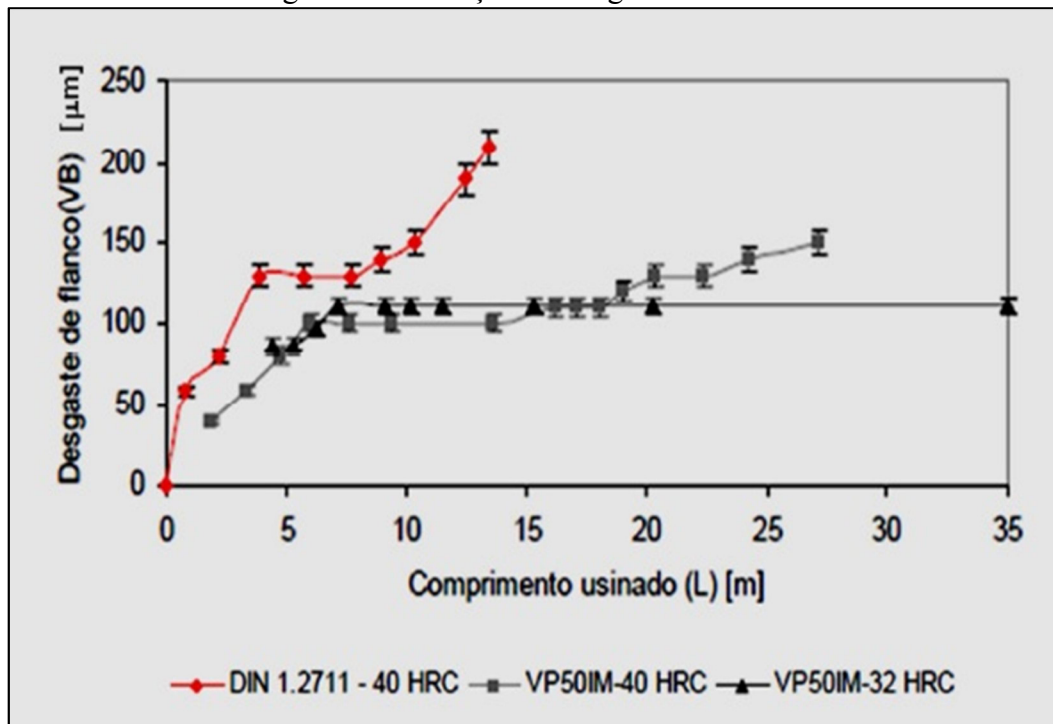
Os aços utilizados na fabricação de moldes devem possuir várias propriedades a fim de desempenhar satisfatoriamente o serviço ao qual serão destinados. No caso dos aços para moldes para injeção de plástico algumas propriedades se destacam como resistência ao desgaste e dureza a quente. Naturalmente, essas propriedades não são associadas a uma boa



usinabilidade. O aço N2711 vem sendo utilizado na fabricação de moldes para injeção de plástico, e, pertencendo a classe dos aços endurecidos, possui todos os inconvenientes destes materiais. (SILVA et al, 2011). Na Figura 8 é mostrada a evolução dos desgastes de flanco das brocas ao longo da vida, na furação de diferentes materiais.

Carvalho e Freitas (2005) avaliaram a usinabilidade dos aços VP50IM e N2711, ambos com dureza de 40 HRC, e também o VP50IM apenas solubilizado, com dureza de 32 HRC, durante o processo de furação. Notou-se que a vida da ferramenta de corte para o aço N2711 é significativamente menor que para os outros dois tipos de aços analisados. De acordo com os mesmos autores, esse comportamento se deve a maior presença de carbonetos no aço N2711 que causa um efeito abrasivo sobre a ferramenta de corte.

Figura 8 – Evolução do desgaste de brocas.



Fonte: Carvalho e Freitas (2005).

### 3 METODOLOGIA

Visando atingir os objetivos definidos para este trabalho foram realizados ensaios de furação em um centro de usinagem CNC com brocas helicoidais de aço rápido (DIN 338) com diâmetro de 8,0 mm sem cobertura, sendo utilizadas para os ensaios 3 brocas com afiação convencional e 3 brocas similares, porém com o arredondamento definido do gume, realizado através do processo de acabamento por araste. Anteriormente foram realizados pré-testes com brocas com afiação original, similares as que foram utilizadas no ensaio final com diferentes velocidades de corte, para determinar a condição que oferece o menor desgaste. O material usinado foi um aço N2711 e a profundidade dos furos foi de 5 vezes o diâmetro da broca. Os ensaios foram realizados em duas etapas, sendo na primeira etapa executados 5 furos com cada broca e tendo seu desgaste dimensionado e fotografado, após foram executados mais 5 furos com cada uma das brocas e o desgaste foi verificado novamente, totalizando 10 furos com igual profundidade com cada broca, os parâmetros de corte assim como a estratégia de usinagem foram mantidos os mesmos e a refrigeração externa e abundante de uma mistura de água com o fluido sintético de origem vegetal denominado BrasOil EP 200.

#### 3.1 MÁQUINAS

A máquina utilizada para realizar a furação foi um centro de usinagem CNC modelo LG-1000 da Hartford que possui 11 Kw de potência instalada no motor principal, rotação de 50 a 12000 rpm e comando Mitsubishi modelo Hartrol M-70. Demais especificações da máquina podem ser conferidas na Figura 9.

Figura 9 – Especificações da máquina utilizada.

<b>Hartford LG - 1000</b>	
Cursos X/Y/Z (mm)	1000 x 510 x 630
Peso sobre a mesa (Kg)	700
Avanço rápido X/Y/Z (m/min)	30/30/24
Avanço de trabalho (m/min)	10
Quantidade de ferramentas	24
Tipo de trocador	Arm type
Tempo de troca (s)	3
Peso da máquina (Kg)	5800

Fonte: Catálogo Hartford (2014).

Para a avaliação e medição do desgaste das brocas foi utilizado um estereoscópio trinocular de medição universal, modelo TNE-10B, da marca Entex.

### 3.2 FERRAMENTAS

As brocas denominadas B4, B5 e B6 utilizadas nos ensaios são brocas helicoidal de aço rápido (DIN 338) com diâmetro de 8,0 mm padrão sem cobertura, fabricadas pela empresa Dormer. Na Figura 10 pode-se conferir a imagem de uma broca helicoidal.

Figura 10 – Broca helicoidal.



Fonte: Catálogo DORMER (2014).

Já as brocas denominadas B1, B2 e B3 são brocas similares, porém, estas passaram por um processo de arredondamento definido do gume, pelo processo de acabamento por arraste em uma máquina Otec modelo DF-3 Tool, em parceria com a empresa WM Tools. Algumas características desta máquina podem ser conferidas na Figura 11.

Figura 11 – Características da máquina Otec DF-3 Tool.



Fonte: O autor (2014).

Neste processo as brocas foram posicionadas em um suporte especial e arrastadas em movimento circular e planetário em alta velocidade em um recipiente cheio de mídia abrasiva denominada HSC 1/300 especial para rebarbação e polimento, o processo teve duração de 4 minutos, sendo 2 minutos no sentido horário e mais 2 minutos no sentido anti-horário. O movimento em alta velocidade cria alta pressão de contato entre as brocas e a mídia, produzindo resultados em um curto espaço de tempo com alta precisão de arredondamento dos cantos e um acabamento muito lustroso, com o mesmo nível de qualidade que é conseguido somente no polimento manual.

### 3.3 CORPO DE PROVA

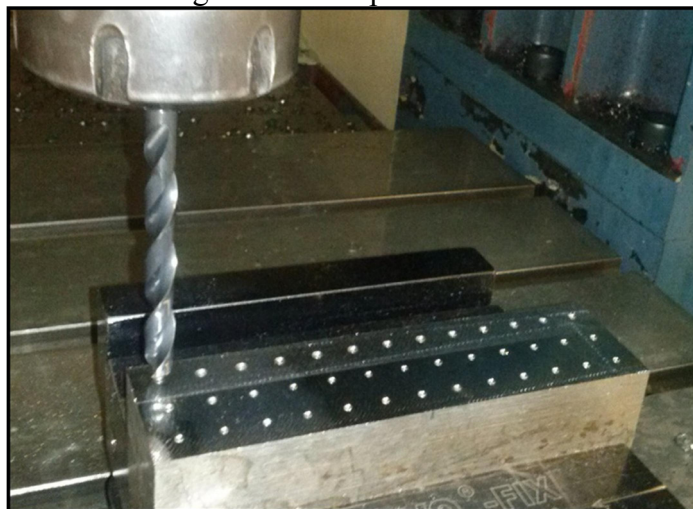
Para realização dos ensaios foi utilizado um bloco aço N2711 conforme mostra a Figura 12, que de acordo com a fabricante de aços Villares Metals (2014) é um aço de médio teor de carbono e baixa liga, fornecido temperado e revenido oferece boa polibilidade e texturização, possui dureza de 40 HRC que é constante até o núcleo, essa característica demanda cuidados na usinagem, principalmente em operações de furação. Na Tabela 1 temos a composição química do aço N2711.

Tabela 1 – Composição química do aço N2711.

<b>C (%)</b>	<b>Mn (%)</b>	<b>Cr (%)</b>	<b>Mo (%)</b>	<b>Ni (%)</b>	<b>V (%)</b>
0,56	0,7	0,7	0,3	1,65	0,075

Fonte: Catálogo Villares Metals (2014).

Figura 12 – Corpo de Provas.

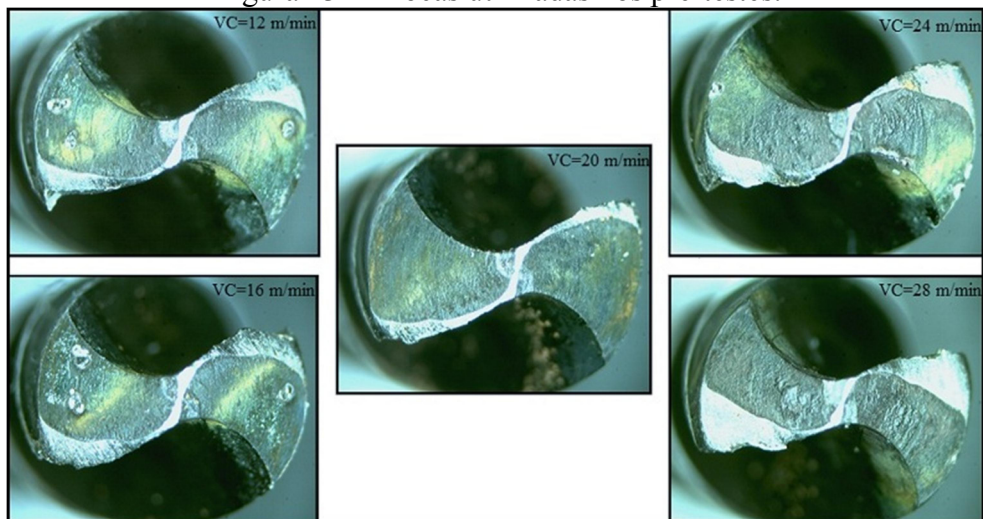


Fonte: O autor (2014).

### 3.4 PRÉ-TESTES

Foram realizados ensaios com brocas com afiação original, similares as que foram utilizadas no ensaio final, variando as velocidades de corte para determinar a melhor condição de usinagem, foram executados 15 furos com cada broca nas mesmas condições e características dos furos do ensaio final e foi escolhida para os testes finais a velocidade de corte da broca que apresentou o menor desgaste que foi de 20 m/min conforme pode ser visualizado na Figura 13. Pode-se identificar nas imagens que o desgaste por adesão foi mais intenso nas brocas com as menores velocidades de corte, a medida que a velocidade de corte aumenta a adesão diminui e o mecanismo de desgaste que predomina é a abrasão.

Figura 13 – Brocas utilizadas nos pré-testes.



Fonte: O autor (2014).

### 3.5 CONDIÇÕES DE USINAGEM

De acordo com os pré-testes realizados os parâmetros de corte utilizados foram uma velocidade de corte de 20 m/min e um avanço por rotação definido pelo fabricante de 0,13 mm, conforme apresenta a Tabela 2. A furação não foi passante e a profundidade dos furos foi de 40,0 mm, a estratégia de usinagem utilizada foi a furação tipo intermitente, com incremento de 2,0 mm e refrigeração externa e abundante de uma mistura de água com o fluido sintético de origem vegetal denominado BrasOil EP 200.

Tabela 2 – Parâmetros de corte utilizados no ensaio de furação.

Velocidade de corte [m/min]	Avanço por rotação [mm]	Incremento [mm]
20	0,13	2,0

Fonte: O autor (2014).

#### 4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Na Tabela 3 pode-se observar o resultado do desgaste de cada gume em relação ao número de furos executados, ficando evidente que não existe um padrão de desgaste para cada broca e para cada gume de uma broca de aço-rápido.

Tabela 3 – Desgaste dos gumes em relação ao número de furos.

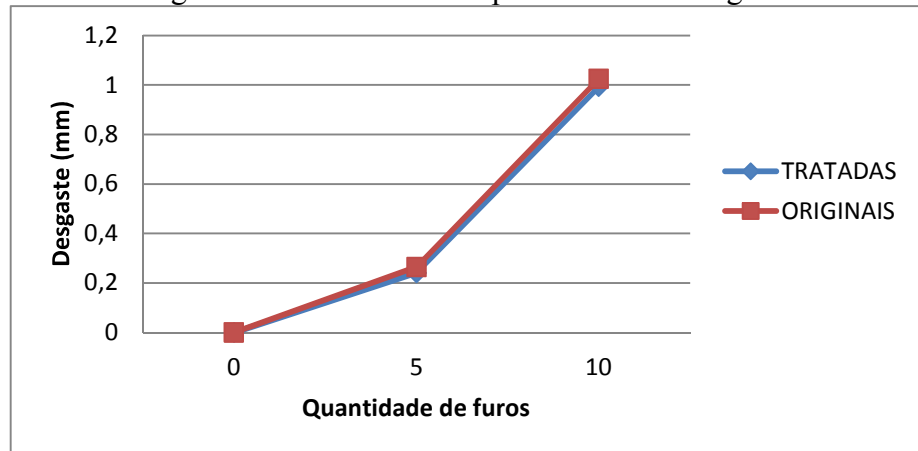
	Desgaste após 5 furos				Desgaste após 10 furos			
	Broca	Desgaste por gume (mm)	Média por broca (mm)	Média geral (mm)	Broca	Desgaste por gume (mm)	Média por broca (mm)	Média geral (mm)
Tratadas	B1	G1= 0,26	0,265	0,241	B1	G1= 1,11	1,130	0,993
		G2= 0,27				G2= 1,15		
	B2	G1= 0,19	0,210		B2	G1= 0,92	0,865	
		G2= 0,23				G2= 0,81		
	B3	G1= 0,26	0,250		B3	G1= 1,14	0,985	
		G2= 0,24				G2= 0,83		
Originais	B4	G1= 0,25	0,265	0,265	B4	G1= 1,08	1,075	1,025
		G2= 0,28				G2= 1,07		
	B5	G1= 0,30	0,290		B5	G1= 0,99	0,995	
		G2= 0,28				G2= 1,00		
	B6	G1= 0,25	0,240		B6	G1= 0,97	1,005	
		G2= 0,23				G2= 1,04		

Fonte: O autor (2014).

De acordo com Lenz, *et al* (1978) o comportamento do desgaste é dividido em três etapas, conforme representa o gráfico da Figura 15, na qual, a primeira os gumes possuem alta taxa de desgaste, caracterizada pela fase de ajuste dos gumes ao processo. A segunda etapa é caracterizada por um desgaste contínuo, uniforme e uma evolução menos acentuada. Com a evolução do desgaste, é atingida a terceira etapa, onde a ferramenta chega ao seu fim de vida, ou fase catastrófica por motivos de alto desgaste ou falha.

Analisando o gráfico da Figura 14 fica evidente que tanto nas brocas originais como nas brocas tratadas o desgaste foi mais acentuado na segunda metade do ensaio, onde foi observado também um considerável aumento de vibração e ruído. Percebe-se que quanto mais próximo ao fim de vida da ferramenta, o desgaste tende a aumentar exponencialmente nos furos seguintes, segundo Zeilmann, *et al* (2010), a perda das características geométricas dos gumes da ferramenta devido à presença dos desgastes eleva as solicitações térmicas e mecânicas, devido ao aumento de atrito e da maior dificuldade em cisalhar o material.

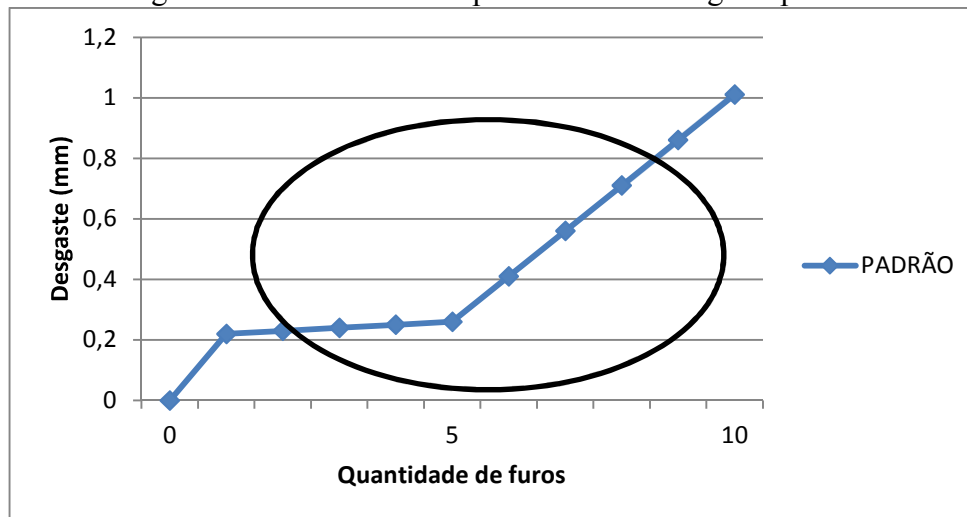
Figura 14 – Curvas de comportamento de desgaste.



Fonte: O autor (2014).

Fazendo um comparativo entre os gráficos fica evidente que o gráfico obtido nos ensaios se encaixa na região circulada do gráfico de comportamento de desgaste padrão, não sendo visível a curva inicial do desgaste de ajuste do gume, pois as medições foram realizadas somente a partir do quinto furo e este desgaste acontece no início do primeiro furo.

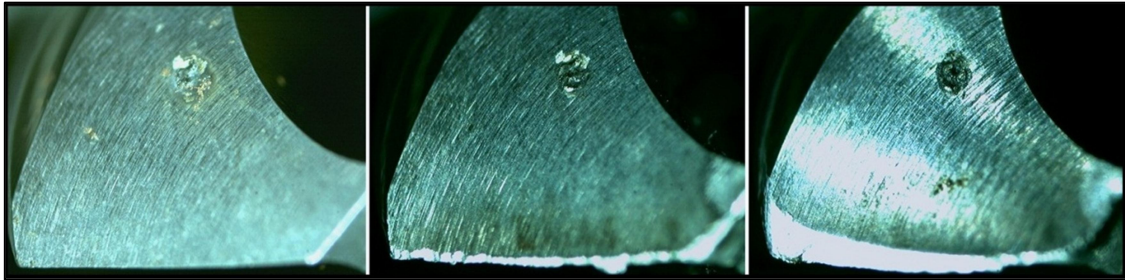
Figura 15 – Curvas de comportamento de desgaste padrão.



Fonte: Material utilizado em aula (2012/2).

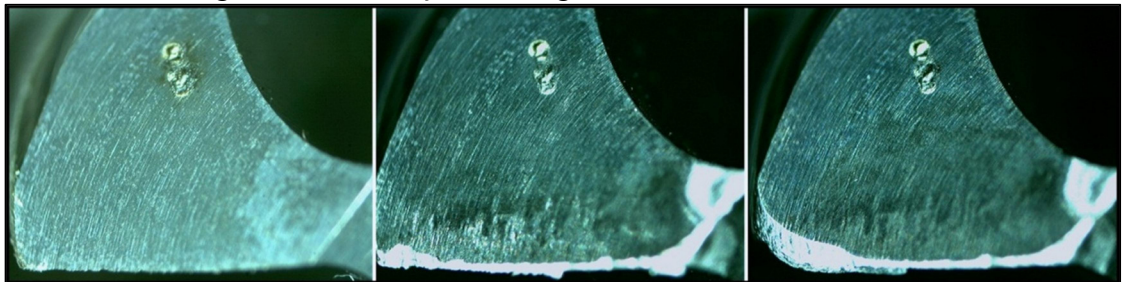
A Figura 16 mostra a evolução do desgaste durante o ensaio de furação da aresta 1 da broca B2 que foi submetida ao processo de tratamento superficial de acabamento por arraste, enquanto a Figura 17 mostra a evolução do desgaste da aresta 1 da broca B5 que foi utilizada na sua condição original. Ambas figuras mostram as referidas brocas antes de iniciar a furação, após 5 furos e após 10 furos.

Figura 16 – Evolução do desgaste da aresta 1 da broca B2.



Fonte: O autor (2014).

Figura 17 – Evolução do desgaste da aresta 2 da broca B5.



Fonte: O autor (2014).

A análise das imagens, juntamente com os valores de desgaste dimensionados, apontam que, os ganhos obtidos com o tratamento superficial nas brocas não foram satisfatórios. Em relação aos mecanismos de desgaste, também não houve diferenças significativas na comparação entre as ferramentas. A adesão e a abrasão foram os mecanismos de desgaste predominantes e não foram verificados lascamentos no gume principal. Segundo Trent (2000), o desgaste por abrasão é originado pelo atrito durante o corte por cisalhamento de material, ocasionando vibrações, que posteriormente originam a falha catastrófica da ferramenta. Da mesma forma Diniz, Marcondes e Coppini (2003), afirmam que o corte interrompido, a profundidade de usinagem irregular ou a falta de rigidez promovem o fluxo irregular de cavaco e, portanto, facilitam o mecanismo de desgaste por adesão. Durante as análises pode-se observar também que as brocas originais e tratadas apresentaram peculiaridades no desgaste. Na broca B2 que foi submetida ao processo de tratamento superficial nota-se que houve um desgaste crescente entre o gume transversal e a quina da ferramenta, enquanto na broca original B5, notou-se que o desgaste se manteve mais homogêneo do gume transversal até a metade da aresta, tendo um notável crescimento próximo a quina da ferramenta.

Conforme Bueno (2009), devido ao fato da fabricação de brocas de aço-rápido ser realizado a partir de um cilindro metálico, no qual atuam rebolos abrasivos modelando a geometria e realizando a afiação da broca, podem ocorrer defeitos de fabricação, bem como,



trincas, microlascamentos e desvios geométricos e dimensionais, os quais podem influenciar diretamente na performance da ferramenta. Estes defeitos de fabricação nas brocas de aço-rápido podem ser visualizados na Figura 18, a qual mostra uma foto ampliada de umas das ferramentas selecionadas para o ensaio em seu estado de nova.

Figura 18 – Microlascamentos em uma broca de aço-rápido nova.



Fonte: O autor (2014).

Uma possível explicação para não ter sido alcançado o rendimento esperado nas brocas submetidas ao tratamento superficial pode ser esclarecido em estudo realizado por Zeilmann, *et al* (2012), onde foi constatado que irregularidades e micro defeitos do gume resultante da fabricação das ferramentas podem ser amplificados por tratamentos. As ferramentas constituídas de aço-rápido, que é um material mais dúctil que o metal-duro, portanto mais deformável, ao invés de ocorrer o cisalhamento das rebarbas pelo contato com a mídia abrasiva do tratamento, pode ocorrer um dobramento das rebarbas sobre o gume, o que também gera o arredondamento da quina. E os micro defeitos amplificados pelo tratamento tornam-se regiões de concentrações de tensões, potencializando o desgaste da ferramenta e prejudicando a qualidade da superfície resultante.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada uma análise comparativa do desgaste de brocas de aço-rápido com micro geometria original em relação às submetidas ao tratamento superficial de acabamento por arraste. A literatura apresenta resultados muito interessantes para ensaios de furação realizados com brocas de metal duro submetidas a diferentes tipos de tratamentos superficiais de arredondamento definido do gume, no entanto para brocas de aço-rápido os ensaios revelaram que o tratamento superficial aplicado nas ferramentas não resultou em uma melhora significativa da vida útil das brocas, sendo que o desgaste foi muito semelhante entre brocas originais e tratadas, a melhora verificada nas brocas tratadas em relação as brocas originais foi inferior a 4 % sendo que o custo deste tratamento pode chegar a metade do valor de uma broca de aço-rápido. Com relação aos mecanismos e tipos de desgaste, não foram observadas diferenças entre as ferramentas originais e tratadas, sendo a adesão e abrasão os mecanismos de desgaste predominantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIERMANN, D.; DENKENA, B.; TERWEY, I.; REHE, M. **Microconfiguração das Ferramentas para Usinar Aço Temperado**. Máquinas e Metais. Editora Aranda. v.49, n.570, 2013.

BIERMANN, D.; TERWEY, I.; WOLF, M. **A Condição da Aresta Determina o Momento de Furar e as Forças de Usinagem**. Máquinas e Metais. Editora Aranda. v.49, n.565, 2013.

BIERMANN, D.; WEINERT, K.; TERWEY, I.; DENKENA, B.; HAUBROCK, J. **Comportamento de Ferramentas Complexas com Arestas de Corte Preparadas**. Máquinas e Metais. Editora Aranda. v.47, n.546, 2011.

BIERMANN, Dirk.; TERWEY, Ina; **Cutting edge preparation to improve drilling tools for HPC processes**. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. n. 1, p. 76-80, 2008.

BORDIN, F. M. **Efeito do tratamento da microgeometria de brocas helicoidais de metal-duro sobre a integridade superficial dos furos**. Dissertação Submetida a Universidade de Caxias do Sul para obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica, UCS, 2013.

BUENO, J.S. **Estudo da Condição de Integridade do Gume de Brocas Fabricadas em HSS**. XVII Encontro de Jovens Pesquisadores da UCS, 2009.

CARVALHO, M. V.; FREITAS, D. F. **Fim de Vida das Ferramentas no Processo de Furação do Aço VP50IM – 32 E 40 HRC em relação ao Aço DIN 1.2711**. XII Congresso nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, 2005.

CASTILLO, W. J. G. **Furação Profunda de Ferro Fundido Cinzento GG25 com Brocas de Metal-Duro com Canais Retos**. Dissertação Submetida a Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica, UFSC, 2005.

CHEUNG, F.Y.; ZHOUG, Z.F.; LI, K.Y. **Cutting edge preparation using magnetic polishing and its influence on the performance of high-speed steel drills**. Journal of Materials Processing Technology. n. 208, p. 196-204, 2008.

DENKENA, B.; LEON, L.; REHE, M. **Atenção com a Cinemática do Escovamento e o Desgaste das Cerdas na Preparação das Arestas de Corte**. Máquinas e Metais. Editora Aranda. v.48, n.549, 2011.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 4ª Ed. São Paulo, Ed. Artliber. 2003.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. Volume 1. São Paulo .1977  
.http://www.lmp.ufsc.br. Acesso em Abril de 2014.

LENZ, D.E; MAYER, J.E; LEE, D.G. **Investigation in Drilling**. Anais. CIRP vol27 1a ed. P49-53,1978

PATIÑO, C. E. R; MARCIANO, J. P. P; SOUZA, G. F. M. **Análise da Probabilidade de Desgaste de Brocas Helicoidais**. Máquinas e Metais, 2006.

RODRIGUEZ C. J. C. **Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing**. Tese de Doutorado, Universidade de Kassel, Alemanha. 205 p., 2009.

ROMBALDI, I. A.; ZEILMANN, R. P. **Influência do Acabamento da Broca Sobre a Vida na Furação de Ferro Fundido Nodular**. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2011.

SILVA, F. C. S.; MEDEIROS, M. A.; AGUIAR, F. M.; MACHADO, A. R.; SILVA, M. B.; BARBOSA, C. A. **Estudo Comparativo da Usinabilidade dos Aços para Moldes VP50IM e N2711 no Fresamento de Topo**. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2011.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte I**. 6ª edição Florianópolis, Ed. UFSC. 2005.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte II**. 1ª edição Florianópolis, Ed. UFSC. 2005.

TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K., **“Metal Cutting”**, 4th Edition, Butterworth Heinemann, 2000.

ZEILMANN, Rodrigo Panosso. **Furação da Liga de Titânio T16A14V com Mínimas Quantidades de Fluidos de Corte**. Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Mecânica, UFSC, 2003.

ZEILMANN, R.P.; VACARO, T.; BORDIN, F.M.; COMIN, G.S., **Integridade no Fresamento com Ferramentas Submetidas a Tratamento Superficial**. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, São Luis, MA, 2012.

ZEILMANN, R.P.; ZANOTTO, M.; SOARES, R.M.; VACARO, T., **Estudo da Integridade Subsuperficial de Furos Realizados com Brocas HSS DIN 338 sob Diferentes Condições de Aplicação de Fluidos Lubri-refrigerantes**. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Campina Grande, PB, 2010.