



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-  
ÁRIDO  
DEPARTAMENTO CENTRO DAS ENGENHARIAS  
ENGENHARIA MECANICA**

**DANIEL FELIPE DA SILVA GALDINO**

**ANÁLISE DE DESGASTE DE BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO  
REVESTIDAS, NÃO REVESTIDAS E NITRETADAS.**

**MOSSORÓ-RN**

**2017**

**DANIEL FELIPE DA SILVA GALDINO**

**ANÁLISE DE DESGASTE DE BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO  
REVESTIDAS, NÃO REVESTIDAS E NITRETADAS.**

Projeto apresentado ao Conselho do Curso de engenharia mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial para elaboração do projeto de Conclusão de Curso.

Orientador(a): Prof. Dr. Ramsés Otto Cunha Lima -  
UFERSA

MOSSORÓ-RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G149a Galdino, Daniel Felipe da Silva.  
ANÁLISE DE DESGASTE DE BROCAS HELICOIDAIS DE  
AÇO RÁPIDO REVESTIDAS, NÃO REVESTIDAS E  
NITRETADAS. / Daniel Felipe da Silva Galdino. -  
2017.  
60 f. : il.

Orientador: Ramsés Otto Cunho Lima.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de , 2017.

1. Mecanismos de desgaste. 2. Brocas. 3.  
revestimento. 4. nitretação. I. Cunho Lima, Ramsés  
Otto , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

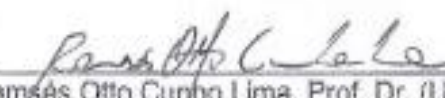
DANIEL FELIPE DA SILVA GALDINO

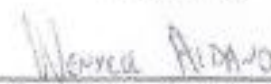
**ANÁLISE DE DESGASTE DE BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO  
REVESTIDAS, NÃO REVESTIDAS E NITRETADAS.**

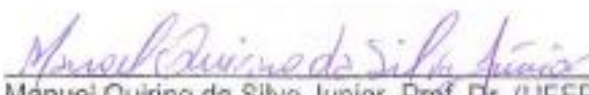
Monografia apresentada a  
Universidade Federal Rural do Semi-  
Árido como requisito para obtenção  
do título de Engenheiro Mecânico.

Defendida em: 22 / 05 / 2007

**BANCA EXAMINADORA**

  
Ramsés Otto Cunha Lima, Prof. Dr. (UFERSA)  
Presidente

  
Wendell Albano, Prof. Me. (UFERSA)  
Membro Examinador

  
Manuel Quirino da Silva Junior, Prof. Dr. (UFERSA)  
Membro Examinador

---

**A Maria Edileuza Da Silva** (in memorian),  
minha mãe, que foi a pessoa que sempre  
me incentivou a ir neste caminho de  
estudos, e a minha principal fonte de  
inspiração. Obrigado por tudo que me  
ensinas-te, essa conquista é em sua  
homenagem.

**A Laurita Maria da Silva** (in memorian),  
minha avó, dedico muito essa conquista, já  
que ela sempre presava o estudo de seus  
estudos e netos, obrigado vó pelos  
momentos proporcionados em minha vida.  
Jamais te esquecerei. Essa conquista vai  
também pra senhora!

**A Luiz Brilhante Galdino**, meu pai, que foi  
a pessoa que sempre me deu grande  
suporte para que esse momento pudesse  
se realizar.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente aos meus pais Luiz Brilhante Galdino e Maria Edileuza da Silva, por terem me dado à vida e me criado com tanto amor e carinho, mesmo eu sempre dando trabalho. Especialmente minha mãe, pois foi ela quem sempre investiu nos meus estudos e sempre o visou acima das outras coisas, e ao meu pai por ter mantido esse caminho mesmo depois da ida de minha mãe. Isso tudo que estou conquistando hoje agradeço a vocês!

A minha família, como minhas tias e tios, avós e avôs, primas e primos, irmão e irmã, lhe agradeço, pois quando meus pais não podiam estar comigo foram vocês quem cuidaram de mim.

Ao professor Ramsés Otto Cunha Lima, por sua orientação, apoio e incentivo, obrigado por estar sempre disponível a me ajudar.

Aos professores da banca por disponibilizarem seu tempo para ler meu trabalho.

A todos os meus amigos que me ajudaram a aliviar as pressões da faculdade e aos meus amigos que me ajudaram no decorrer do curso, obrigado do fundo da minha alma pelo apoio de todos vocês.

A todos os professores que passaram por esse caminho difícil, mas necessário de minha vida, agradeço a todos vocês.

Ao LabPlasma UFERSA por disponibilizar os equipamentos para o trabalho, e a Jussier De Oliveira Vitoriano por disponibilizar seu tempo para nos dar auxílios.

A instituição UFERSA em geral, por ter proporcionado tal acontecimento em minha vida.

## EPÍGRAFE

Não está acabado até que eu vença.  
(Les Brown)

## Resumo

Tendo em vista que praticamente todas as peças tem ao menos um furo e nem sempre esse furo pode vir direto do processo de fundição, uma das ferramentas mais importantes da usinagem é a broca, sendo que a mesma é utilizada em processos de furação. Podendo existir em diversas formas, como helicoidal (nosso caso) e chatas. Existem diversos tipos de materiais utilizados para confecção de brocas, sendo um dos mais utilizados, o aço rápido, devido sua dureza relativamente boa, sua boa tenacidade e seu custo benefício. A utilização dessas ferramentas no processo de usinagem, devido ao atrito e as elevações de temperaturas que as mesmas provocam, geram desgastes e deformações. Para amenizar esses desgastes e alterar as propriedades de uma determinada ferramenta, se desenvolveu os tratamentos com revestimentos em materiais, que trata-se em adicionar uma película de um outro material que tenha as propriedades desejadas sobre a peça/ferramenta, sendo um dos revestimentos mais utilizado o de nitreto de titânio, devido sua alta dureza e boa tenacidade. Outro meio de obter-se melhorias das propriedades mecânicas em ferramentas é por tratamento de nitretação no material, sendo que o mesmo permite a obtenção de maiores durezas nas ferramentas de tal modo a aumentar seu tempo útil de vida. Peça/ferramenta com esses tratamentos ou revestimentos são encontrados no mercado, podendo ser também realizado em laboratórios. Testes realizados em brocas revestidas no mercado, em brocas nitretadas a plasma em laboratório, e em brocas sem tratamento ou deposição, serão realizados por meio de furação numa peça de ferro fundido para análise do desgaste e dos mecanismos de desgaste dos mesmos, e desse modo determinar a maior resistência.

Palavras chaves: brocas, revestimento, furação e nitretação.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Furação em cheio.....                                                             | 17 |
| Figura 2 - Furação de centro.....                                                            | 17 |
| Figura 3 - Grandeza de corte na furação.....                                                 | 19 |
| Figura 4 - Broca helicoidal.....                                                             | 21 |
| Figura 5 - Ângulo de ponta.....                                                              | 23 |
| Figura 6 - Desgastes na broca helicoidal.....                                                | 34 |
| Figura 7 - Desgaste de flanco médio e máximo.....                                            | 36 |
| Figura 8 - Diagrama de distribuição dos mecanismos de desgaste das ferramentas de corte..... | 37 |
| Figura 9 - Desgaste Abrasivo.....                                                            | 38 |
| Figura 10 - Desgaste abrasivo numa broca helicoidal.....                                     | 39 |
| Figura 11 - Zonas de oxidação.....                                                           | 39 |
| Figura 12 - Desgaste por adesão.....                                                         | 40 |
| Figura 13 - Desgaste por difusão.....                                                        | 41 |
| Figura 14 - Dimensões das Brocas.....                                                        | 42 |
| Figura 15 - Tarugo utilizado para realização dos furos.....                                  | 42 |
| Figura 16 - Reator de Plasma.....                                                            | 43 |
| Figura 17 - Microscópio Digital.....                                                         | 45 |
| Figura 18 - Fim de vida da broca 1 não revestida.....                                        | 47 |
| Figura 19 - Fim de vida da broca 2 não revestida.....                                        | 48 |
| Figura 20 - Fim de vida da broca 3 não revestida.....                                        | 48 |
| Figura 21 - Broca 1 revestida que sofreu ruptura.....                                        | 50 |
| Figura 22 - Broca 2 revestida que sofreu ruptura.....                                        | 51 |
| Figura 23 - Desgaste da broca 3 revestida comercialmente.....                                | 51 |
| Figura 24 - Broca 1 Nitretada.....                                                           | 52 |
| Figura 25 - Broca 2 nitretada.....                                                           | 53 |
| Figura 26 - Broca 3 nitretada.....                                                           | 53 |
| Figura 27 – Mecanismos da broca não revestida.....                                           | 54 |
| Figura 28 - Mecanismos da broca nitretadas.....                                              | 55 |

Figura 31 - Mecanismos da broca revestida.....55

## LISTA DE TABELAS

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Propriedades do nitreto de titânio..... | 30 |
| Tabela 2 – Parâmetros da Limpeza.....              | 42 |
| Tabela 3 – Parâmetros da nitretação.....           | 43 |
| Tabela 4 - Parâmetros de corte .....               | 43 |

## Sumário

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>                                                                           | 13 |
| <b>2. Objetivos do Trabalho</b>                                                                | 15 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL                                                                             | 15 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS                                                                      | 15 |
| <b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b>                                                                  | 16 |
| 3.1 PROCESSO DE FURAÇÃO                                                                        | 16 |
| 3.2 FORMAÇÃO DO CAVACO                                                                         | 17 |
| 3.3 PARÂMETROS DE CORTE NA FURAÇÃO                                                             | 18 |
| 3.2.1 Avanço                                                                                   | 18 |
| 3.2.2 Profundidade de Corte                                                                    | 19 |
| 3.2.3 Velocidade de Corte                                                                      | 20 |
| 3.4 BROCA HELICOIDAL                                                                           | 20 |
| 3.5 AÇO RÁPIDO                                                                                 | 25 |
| 3.5.1 Características do aço rápido                                                            | 25 |
| 3.5.2 Propriedades do aço rápido                                                               | 26 |
| 3.7 REVESTIMENTO                                                                               | 28 |
| 3.7.1 Histórico sobre revestimento                                                             | 28 |
| 3.7.2 Materiais e revestimentos para brocas                                                    | 29 |
| 3.7.3 Revestimento de nitreto de titânio (TiN)                                                 | 30 |
| 3.8 NITRETAÇÃO                                                                                 | 32 |
| 3.8.1 Nitretação a plasma                                                                      | 32 |
| 3.9 DESGASTES NA BROCA                                                                         | 33 |
| 3.9.1 Critérios de fim de vida e desgastes em brocas                                           | 35 |
| 3.10 MECANISMOS DE DESGASTE                                                                    | 36 |
| 3.10.1 Abrasão                                                                                 | 38 |
| 3.10.2 Oxidação                                                                                | 39 |
| 3.10.3 Adesão                                                                                  | 40 |
| 3.10.4 Difusão                                                                                 | 41 |
| <b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b>                                                                  | 42 |
| 4.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS                                                                   | 42 |
| 4.1.1 materiais utilizados                                                                     | 42 |
| 4.1.2 Equipamento para realização da limpeza e da nitretação                                   | 43 |
| 4.1.2.1 equipamento para realização dos furos                                                  | 44 |
| 4.1.2.2 equipamento utilizado para analisar o desgaste das brocas e determinar seu fim de vida | 45 |

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.2.3 equipamento para realização das análises dos mecanismos de desgaste ..... | 45        |
| <b>5. RESULTADOS .....</b>                                                        | <b>47</b> |
| 5.1 RESULTADO DA ANÁLISE DOS FUROS .....                                          | 47        |
| 5.1.1 Brocas não revestidas .....                                                 | 47        |
| 5.1.2 Brocas revestidas comercialmente .....                                      | 50        |
| 5.1.3 Brocas nitretadas a plasma .....                                            | 52        |
| 5.2 ANÁLISE DOS MECANISMOS DE DESGASTE .....                                      | 54        |
| 5.2.1 Brocas não revestidas .....                                                 | 54        |
| 5.2.2 Brocas Nitretadas .....                                                     | 55        |
| <b>6. CONCLUSÕES .....</b>                                                        | <b>56</b> |
| 6.1 CONCLUSÕES .....                                                              | 56        |
| <b>7. SUGESTÕES .....</b>                                                         | <b>57</b> |
| <b>8. REFERÊNCIAS .....</b>                                                       | <b>58</b> |
| APÊNDECE A – PROPRIEDADES DO FERRO FUNDIDO NODULAR .....                          | 61        |

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de furação é um dos mais utilizados no meio da usinagem, tendo em vista que a maioria das peças usinadas tem pelo menos um furo, e esse furo na maioria das vezes não tem como vir direto do processo de fundição, se fazendo necessário a utilização de ferramentas para a abertura desse furo. A ferramenta mais utilizada para tal processo de abertura de furos, são as brocas, existindo diversas formas e tamanho. A furação é um dos processos gargalos da usinagem, devido à complexidade do processo, envolvendo variações da velocidade de corte ao longo dos gumes principais, chegando próximo de zero no centro e atingindo seu máximo na periferia (CASTILLO, 2005). Além disso a formação do cavaco ocorre numa região de difícil acesso no interior do material da peça, de tal forma a prejudicar a saída do mesmo e a dissipação do calor, ficando agravado na ausência do fluido de corte. Com isso novas pesquisas sobre usinagem e materiais ganhem mais espaço e incentivos, sendo desenvolvidos novos materiais na fabricação de brocas, como o metal duro, que pelo fato de apresentar alta dureza a quente tinha uma maior vida útil, no entanto, apresentava baixa tenacidade, fazendo com que o material mais utilizado para a fabricação de brocas seja o aço rápido (*HSS – High Speed Steel*). No entanto, o desgaste e falhas prematuras em peças de aço rápido diminuem a produção das máquinas, comprometendo a produtividade. E com o desenvolvimento das indústrias, aumento da demanda e competitividade entre as produtoras de bens, a necessidade de se produzir mais em menos tempo se tornou crucial, porém, essa maior produtividade exige mais da ferramenta, fazendo com que exista um maior desgaste da mesma. Diversos tipos de métodos foram desenvolvidos para amenizar esse problema, entre eles, dois dos mais utilizados é o de revestimento com TiN e o de nitretação, onde, o de revestimento de TiN ganhou grande destaque devido sua grande eficiência e praticidade, já o tratamento de nitretação vem como método alternativo para solucionar esses problemas, pois o mesmo (nitretação) confere a ferramenta maior dureza e resistência a fadiga, com a vantagem de manter a tenacidade dos aços tratados, isso ocorre devido a temperatura do tratamento ser inferior aos 500°C.

Peças/ferramentas revestidas e nitretadas são encontradas comumente no mercado (as nitretadas mais difíceis que as revestidas), no entanto, elas tem

qualidade decorrente do tipo de tratamento na qual foi utilizado, se fazendo necessário testes de comparação para análise de qualidade do tratamento.

## **2. Objetivos do Trabalho**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Determinar a relação de desgaste de brocas helicoidais de aço rápido sem nitretação ou revestimento, brocas helicoidais de aço rápido com revestimento de nitreto de titânio revestidas comercialmente, e brocas helicoidais de aço rápido nitretadas em laboratório, visando a resistência das mesmas na furação de peças de ferro fundido nodular.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Compreender a influência do revestimento e da nitretação em brocas nas condições impostas
- Realizar a furação com brocas de aço rápido revestidas de nitreto de titânio, brocas de aço rápido nitretadas em laboratório, e brocas de aço rápido sem revestimento em peças de ferro fundido nodular.
- Verificar a eficiência das condições de furação
- Analisar o desgaste e mecanismos de desgastes atuantes no processo
- Discutir sobre o desempenho das mesmas com relação no mecanismos de desgastes.



### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

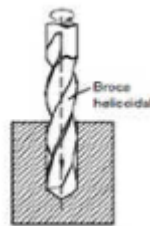
#### 3.1 PROCESSO DE FURAÇÃO

No processo de furação em peças, são empregadas ferramentas cujo nome são brocas. A furação, segundo Sharman, Amarasinghe e Ridgway (2008) é um dos processos de usinagem mais utilizados no meio industrial, sendo assim, grande importância deve ser dada ao seu procedimento, considerando tolerâncias dimensionais e qualidade do furo. A furação é normalmente o último processo na fabricação de uma peça (para não interferir nos outros processos), indicando que se houver um erro na sua aplicação, uma perda enorme ocorrerá, tendo em vista que a peça poderá precisar ser novamente fabricada.

Caracteriza-se um processo de furação como a retirada de material através do movimento relativo de avanço, entre a ferramenta e a peça, seguindo uma trajetória coincidente com o eixo longitudinal da ferramenta por meio de movimento de rotação (CAVALCANTE, 2010). De acordo com CASTILLO (2005), estipula-se que o processo de furação representa 30% de todas as operações de usinagem e 75% de todo o volume retirado da peça. Enquanto se desenvolvem com certa rapidez ferramentas para processos de torneamento e fresamento com novos materiais, como: material cerâmico, nitreto de boro cúbico e diamante, na furação estes materiais são raramente empregados, devido seu alto preço de comercialização e menor prioridade (em relação a qualidade) que esse processo de usinagem recebe, tendo ainda como material mais utilizado em brocas, o aço rápido e o metal duro.

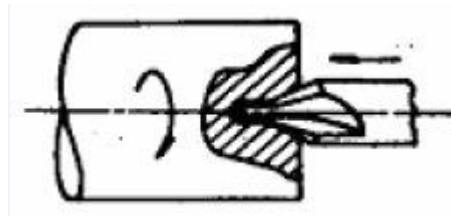
A dificuldade da evolução tecnológica na furação segundo Diniz *et al.* (2010) está relacionada com as severas condições em que seu processo é empregado, sendo elas:

- Variação na velocidade de corte, onde se tem velocidade zero no centro e máxima nas periferias.
- Difícil remoção dos cavacos
- Inadequada distribuição de calor na região de corte
- Desgaste acentuado nas quinas com cantos vivos
- Atrito entre as guias, parede do furo e o próprio cavaco

**Figura 1** - Furação em cheio

**Fonte:** DIN 8589 (*apud* Rios 2014)

Dentre as variações do processo de furação, a furação em cheio Figura 1 é a mais comum. Neste tipo de processo um furo na maioria das vezes cilíndrico é usinado na peça, onde em uma única passada (processo de colocar e retirar a broca da peça) atinge-se uma profundidade normalmente de três a cinco vezes o diâmetro da broca (BORGES, 2009). Se a passada necessária para atravessar a peça for maior que isso, mais difícil será a remoção do cavaco, de tal forma que será necessário interrupções no processo (necessitará de várias passadas) para a retirada do cavaco e calor. (DINIZ *et al.*, 2010)

**Figura 2** - Furação de centro

**Fonte:** DIN 8589 (*apud* Rios 2014)

Outra forma de efetuar a furação em peças, é a furação de centro Figura 2 que é empregada normalmente em operações na qual a peça será fixada para ser usinada entre pontas, ou para melhorar a centragem da broca em furações subsequentes. Os furos possuem partes escariadas com ângulo de 60° ou 90°, ou um segundo de proteção de 120°. (STEMMER, 1995)

### 3.2 FORMAÇÃO DO CAVACO

Um dos problemas que ocorrem no processo de furação, é a formação de cavaco, se o mesmo não for formado de tal modo que facilite sua saída, logo deverá

entupir o furo, assim gerando um momento torsor maior que acarretará na diminuição da vida útil da broca, ou a quebra imediata. Essa quebra é um problema grave, pois além de perder uma ferramenta, a retirada da mesma do furo é caro e muitas vezes leva à danificação da peça, tendo que as vezes descartá-la. (DINIZ *et al.*, 2010)

Dessa forma é fundamental tomar medidas para que a geração de cavacos tenham uma forma que seja de fácil retirada do furo (a forma de fita é uma das mais difíceis de extração). Uma maneira de evitar esse problema, é através de ciclos durante o processo de furação, onde a broca é retirada do furo de várias vezes para a remoção do cavaco (ocasionado perda de tempo no processo de fabricação) ou pela injeção de um fluido de corte sob pressão diretamente no final do furo, diante de tubos implantados na broca. Outro meio seria o aumento do avanço, porém, esse método além de ajudar na remoção do cavaco, se for muito elevada, facilita a quebra da broca. A implantação de quebra cavaco nas brocas diminui a possibilidade de cavaco do tipo fita (que é o pior), assim ajudando na saída do cavaco. (DINIZ *et al.*, 2010)

### 3.3 PARÂMETROS DE CORTE NA FURAÇÃO

Os parâmetros de corte são grandezas definidas pelo operador da máquina e implantadas no equipamento antes do processo começar, podendo ser feito de forma direta ou indireta. São três os principais parâmetros a serem definidos na furação: avanço, profundidade de corte e velocidade de corte. (RODRIGUES, 2005)

#### 3.2.1 Avanço

O avanço é o caminho avançado em cada ciclo ou curso da ferramenta. No processo de furação o avanço se dá de forma linear por revolução numa direção paralela ou coincidente com o eixo do furo. O limite superior do valor do avanço é determinado por características do equipamento, a resistência mecânica da ferramenta e as propriedades do material a ser usinado. Segundo STEMMER (1995), podendo-se utilizar os valores entre 0,5 e 2% do diâmetro da broca como referências para o avanço.

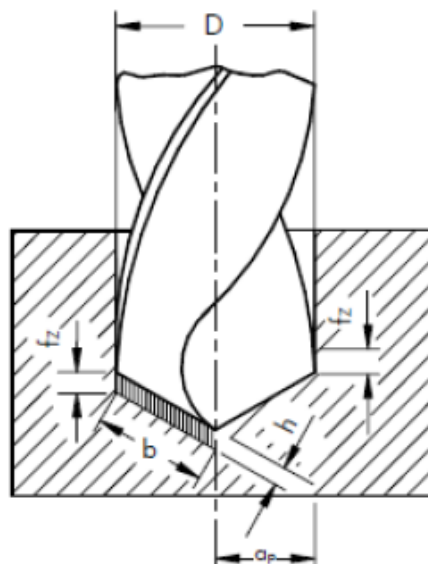
A velocidade de avanço ( $V_f$ ) em mm/min é uma grandeza proporcional ao avanço. Sendo calculada pelo produto do avanço ( $f$ ) em mm/rot, e pela rotação da ferramenta ( $n$ ) em rpm, como mostrado na equação 1:

$$V_f = f * n \quad (1)$$

### 3.2.2 Profundidade de Corte

A profundidade de corte ( $a_p$ ) é a profundidade de penetração do gume principal medida perpendicularmente ao plano de trabalho (DINIZ *et al.*, 2010). No processo de furação corresponde à metade do diâmetro da broca, conforme a Figura 3:

**Figura 3** - Grandeza de corte na furação



**Fonte:** Klock, (2011 *apud* Rios 2016)

Sendo  $f_z$  o percurso de avanço realizado por cada dente. E em brocas helicoidais com duas arestas tem-se:  $f_z/2$ , o D o diâmetro da broca, o b a aresta cortante e  $a_p$  a profundidade de corte. (CASTILLO, 2005)

### 3.2.3 Velocidade de Corte

A velocidade de corte ( $V_c$ ), nada mais é que a velocidade instantânea de um ponto de referência da aresta de corte, segundo a direção e sentido do corte. Calculada em função da posição do ponto da aresta de corte com relação ao centro de rotação da broca. Variando portanto de um valor igual a zero no centro da broca onde a velocidade de rotação é nula, para um valor máximo na periferia da broca, onde a velocidade de rotação é máxima. Se a velocidade de corte for muito elevada pode-se confirmar um superaquecimento da ferramenta devido ao atrito, gerando assim uma perda na capacidade de corte e uma diminuição na vida útil. No entanto, se for muito baixa, pode provocar acabamentos de baixa qualidade e propiciar a formação da aresta postiça de corte, isso para materiais de maior dureza. (CASTILLO, 2005)

A velocidade de corte máxima suportada na broca é quantificada a partir de seu diâmetro, logo:

$$V_c(P) = \frac{\pi * n}{1000} * D(P) \quad (2)$$

Onde:

$n$  = rotação da ferramenta [rpm].

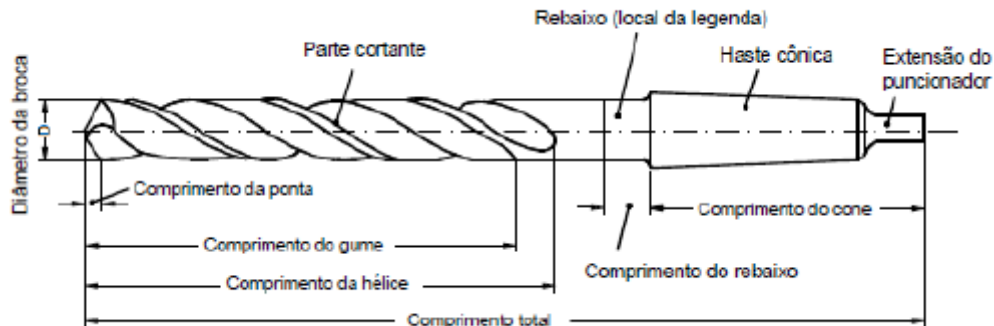
$D(P)$  = Diâmetro da broca [mm].

### 3.4 BROCA HELICOIDAL

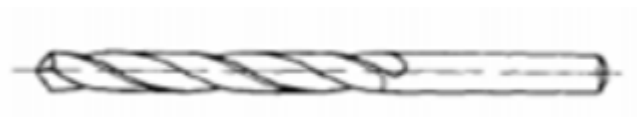
Dependendo das características do furo como: diâmetro, profundidade, volume de produção entre outros, podem se empregar diferentes tipos de brocas, porém, a mais utilizada é a broca helicoidal (Figura 4). Estima-se que ela represente de 20 a 25% de todas as operações de usinagem, e hoje seja a ferramenta de usinagem mais produzida mundialmente. (CASTILLO, 2005)

**Figura 4 - Broca helicoidal**

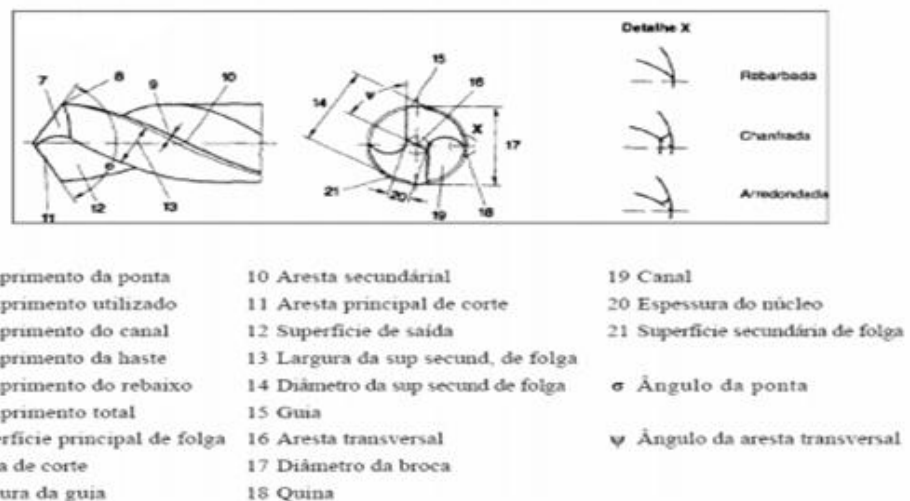
a) Haste cônica



b) Haste cilíndrica



c) Partes do corte



**Fonte:** ABNT NBR 6176 (Apud BARBOSA, 2006)

A broca helicoidal pode ser composta pelos seguintes componentes:

- **Haste:** possuindo uma forma cilíndrica ou cônica, é destinada a fixação da broca na máquina. Brocas com diâmetro pequeno de até 15mm, comumente são utilizadas hastes cilíndrica com fixação sendo por intermédio de mandris. As de haste cônica variam de 5 a 100 mm de diâmetro. (DINIZ *et.al.*, 2010; STEMMER, 1995).

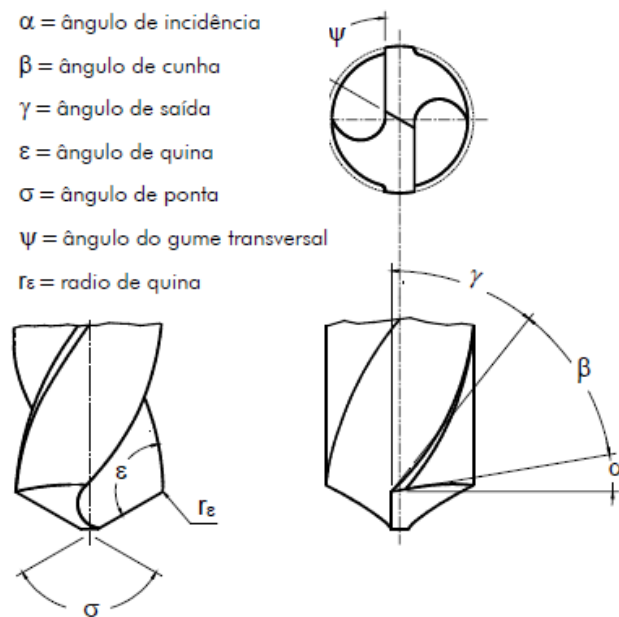
- **Diâmetro (D):** É medido entre as duas guias da broca (DINIZ *et.al.*, 2010).
- **Núcleo:** confere rigidez a broca localizando-se na parte inferior da broca possuindo um diâmetro igual a  $0,16D$  (DINIZ *et.al.*, 2010).
- **Guias:** regiões localizadas em cada aresta de corte cuja funções são de guiar a broca dentro do furo e evitar que a parede externa da broca entre em atrito com as paredes do furo (DINIZ *et.al.*, 2010).
- **Canais:** remove o cavaco formado durante o processo de furação além de facilitar a entrada de fluido de corte em casos em que não há existência de canais de refrigeração na própria broca (STEMMER, 1995).
- **Arestas de corte:** na broca helicoidal as duas arestas principais de corte não se encontram, sendo que estas são ligadas por uma terceira aresta, a qual é a aresta transversal de corte (DINIZ *et.al.*, 2010)

Tendo suas partes constituintes Figura 4c nomeadas pela norma DIN 1412. Podem existir variações geométricas, como ausência de rebaixo, haste cilíndrica ao invés de cônica e a existência ou não de canais de refrigeração interna. (MOCELLIN, 2002)

No que diz respeito as dimensões, as brocas são classificadas pelo seu diâmetro externo, quanto ao comprimento, distingue se pelo comprimento total da broca, o comprimento da hélice e o comprimento da haste, como indicado na Figura 4a. (STEMMER, 1995)

Assim como qualquer outra ferramenta de usinagem a broca helicoidal tem seu rendimento decorrente de sua geometria e seu material. Seus ângulos desempenham papéis de grande importância no avanço do desgaste e na força resultante atuantes no processo de furação, por esse motivo devem ser muito bem escolhidos, visando obter a maior vida útil possível a ferramenta. (CAVALCANTE, 2010)

**Figura 5 - Angulo de ponta**



**Fonte:** Castillo (2005)

De acordo com Castillo (2005), o ângulo de ponta  $\sigma$  Figura 5 tem como suas principais vantagens e funções:

- Diminui a espessura do cavaco e aumenta o comprimento atuante do gume;
- Com o aumento do ângulo de ponta, conseqüentemente aumenta o ângulo de quina  $\varepsilon$ , elevando sua resistência mecânica e a dissipação do calor;
- É responsável pelas forças passivas que ajudam a eliminar eventuais vibrações;
- Possui influência direta da saída do cavaco.

O ângulo de ponta é formado pelos dois gumes principais no plano onde o eixo da broca está localizado. Variando de acordo com o tipo de material e as dimensões da peça a ser usinada. Quando maiores (superiores a  $118^\circ$ ), os ângulos de ponta prejudicam a centragem do furo e provocam um aumento no diâmetro dos furos. No entanto, diminuem o atrito das guias na parede do furo reduzindo o desgaste. Normalmente um ângulo maior de ponta permite o aumento do avanço, possibilitando uma redução considerável no tempo de usinagem. Já ângulos de ponta menores (inferiores a  $118^\circ$ ), possibilitam uma boa centragem da broca e garante furos com



maiores precisões dimensionais, porém, ao mesmo tempo aumentam o atrito das guias na parede do furo. Para um mesmo avanço, o aumento do ângulo de ponta da broca provoca uma diminuição da espessura do cavaco. (CASTILLO, 2005)

O ângulo de incidência  $\alpha$  segundo Castillo (2005), tem como principal função amenizar ou evitar o atrito entre a superfície de corte e o flanco da ferramenta, permitindo que o gume penetre no material usinado e corte livremente. Se o ângulo de incidência é muito pequeno o gume não conseguirá uma penetração conveniente no material e conseqüentemente a ferramenta irá ficar cega mais rapidamente. Ocorrerá assim, forte atrito com a peça, causando um superaquecimento na ferramenta e mau acabamento superficial na peça. Se o ângulo de incidência for muito grande, o gume ficará muito fino, podendo sofrer pequenos lascamentos ou a quebra. A grandeza do ângulo de incidência depende de dois fatores:

- Resistência do material ferramenta
- Resistência e dureza do material a ser usinado.

Se o material da ferramenta apresenta alta tenacidade, pode-se utilizar altos ângulos de incidência, sem perigo de quebras. De tal forma, que ferramentas de aço-rápido podem utilizar ângulos de incidência maiores que as ferramentas de metal duro. (CASTILLO, 2005)

O ângulo de saída do cavaco  $\gamma$  segundo Castillo (2005), é o ângulo entre a superfície de saída e o plano de referência, medido no plano de medida da cunha cortante. Maiores valores de avanço provocam cortes mais pesados, exigindo menores ângulos de saída. Quando menor o avanço, maior pode ser o ângulo de saída. Já com avanços muito pequenos, ocorre o inverso, devido:

- Com avanços pequenos, a zona de pressão se situa muito próxima ao gume, fazendo com que este sofra maior aquecimento e desgaste
- Ângulos de saída pequenos resultam num melhor acabamento

Ângulos de saída negativos tem como principal finalidade fazer com que a solicitação da ferramenta, perto do gume, seja quase que exclusivamente de compressão. Tem como desvantagens a utilização de ângulos negativos de saída a menor qualidade da superfície usinada, necessidade de maior força e potência de usinagem e maior calor gerado na ferramenta. (CASTILLO, 2005)

A maneira da afiação também é um fator decisivo para o tempo de vida útil da broca, sendo que uma boa afiação irá gerar um desgaste menor na ferramenta e um furo com melhor acabamento. Uma aresta afiada reduz os esforços de corte durante do processo. (DINIZ *et al.*, 2010)

O material no qual a broca é produzida é de fundamental importância para sua aplicação e determinação do tempo de vida útil. Existem diversos tipos de matérias utilizados, como: metal duro, diamante, cerâmicas e etc. Um dos mais utilizados é o aço rápido, onde o mesmo será tratado de forma mais detalhada a seguir.

### 3.5 AÇO RÁPIDO

#### 3.5.1 Características do aço rápido

O aço rápido é considerado o material mais utilizado para ferramentas, tendo em vista suas propriedades relativamente boas, e principalmente seu custo baixo. (DINIZ *et al.*, 2010)

Os aços no estado de recozido são constituídos de ferrita e carbonetos. Porém, os aços-liga podem conter em solução de Mn, Si, Ni, Cr e Co em sua composição. Os elementos de liga afetam a resistência dos aços através de diversas formas, sendo elas: aumentando a dureza da ferrita por solução sólida, aumento da quantidade de partículas finas de carbono na estrutura, produzindo um fortalecimento por endurecimento por dispersão, além de promover uma granulação mais fina na ferrita. Dos elementos de liga mais comumente utilizados o de efeito mais pronunciante é o silício e o de menor impacto é o cromo, isso se vendo efeitos positivos de dureza. (DINIZ *et al.*, 2010)

Quando adiciona-se em aços os elementos de liga pronunciados acima, vários benefícios podem surgir, tais como: aumento na resistência mecânica, menos empenamento na têmpera, maior resistência a abrasão para uma mesma dureza, maior tenacidade a mesma dureza, maior dureza mecânica e resistência mecânica a maiores temperaturas. (DINIZ *et al.*, 2010)

De acordo com o *American Iron and Steel Institute*, os aços rápidos são agrupados em seis classes.

Classe 610 – ao tungstênio

Classe 620 – ao tungstênio-cobalto

Classe 630 – ao molibdênio  
Classe 640 – ao molibdênio -cobalto  
Classe 650 – ao tungstênio-molibdênio  
Classe 660 – ao tungstênio –molibdênio-cobalto

Sendo a classe 600 referente aos aços rápidos, e os demais numerais as propriedades de cada elemento (composição do elemento) de liga.

Existe uma grande variedade de composições, do mesmo modo que uma grande diversidade de elementos de liga presentes em teores dos mais variados. Tais elementos de liga formam carbonetos complexos que são responsáveis das características de resistência ao desgaste e dureza a quente desses materiais. Quanto menor o teor de carbono, menor o grau de dureza no estado temperado, do mesmo modo ocorre no sentido inverso. Mas em contra partida, com um maior teor de carbono, maior será a presença de austenita retida, exigindo uma maior temperatura e tempos mais longos durante o tratamento. Uma elevada quantidade de carbono pode promover uma descarbonetação quando não se toma os devidos cuidados (pois os carbonos excessivos iram se desprender e levar alguns que estão “presos”). Mas dependendo do teor de carbono e da atmosfera utilizada, pode-se promover uma leve carbonetação superficial (sendo algumas vezes desejada). Mas em ferramentas como brocas, deve-se ter cuidado pois pode-se promover uma fragilização no gume cortante e falhas prematuras. (FERRARESI, 1977)

Dos elementos de liga mais utilizados o tungstênio é o principal quando em aço rápido, pois além de predominar as classes 610 e 620, ainda está presente nas classes 650 e 660 e em menores proporções nos 630 e 640. Sua principal função é promover um aumento de dureza a quente, fazendo com que o aço rápido seja o mais utilizado aço para ferramentas de corte. (FERRARESI, 1977)

### **3.5.2 Propriedades do aço rápido**

As propriedades de uma material utilizado para uma ferramenta que mais influenciam sobre a capacidade de corte são: dureza a quente, referido a sua capacidade de resistir ao amolecimento a temperaturas elevadas, resistência ao desgaste, refere-se a capacidade do gume cortante suportar a abrasão que está submetido e sua boa tenacidade, que se diz respeito a sua boa mistura de resistência mecânica e ductilidade. (DINIZ *et al.*, 2010)

Vale ressaltar que essa dureza é medida a temperatura ambiente, o que difere muito em condições de usinagem, mas ela serve como parâmetro pra comparar com os outros tipos de materiais para ferramentas. Para aços rápidos, não só a composição química, mas sobretudo o teor de carbono tem grande influência na dureza. (FERRARESI, 1977)

A dureza será maior para valores mais elevados de temperatura da têmpera e o tempo à temperatura. No entanto, esse aumento de dureza tem um limite, chegando a um ponto, em que esse aumento na temperatura não aumentará a dureza do material. Essa temperatura também deve ser escolhida levando em conta o crescimento do grão. (FERRARESI, 1977)

A resistência ao desgaste depende da dureza e composição da matriz, dos carbonetos precipitados responsáveis pela dureza secundária (pois é obtida após o revenimento), da quantidade e mais de carbonetos de liga e por sua natureza. Obtém-se resultados mais elevados aumentando os teores de carbono e vanádio simultaneamente. (FERRARESI, 1977)

Porém o aço rápido não é um dos materiais com maior dureza, assim possui um elevado nível de desgaste dependendo do material a ser usinado.

### 3.6 FERRO FUNDIDO NODULAR

O ferro fundido nodular ou dúctil é conhecido por sua tenacidade, ductilidade e resistência mecânica. Em comparação ao ferro fundido cinzento, ferro maleável e aços-carbonos comuns (sem elementos de liga) o ferro fundido nodular apresenta maior limite de escoamento. (CHIAVERINI, 2012). Devido a morfologia da grafita em forma de esfera existente no ferro fundido nodular, o mesmo apresenta maior resistência mecânica, tenacidade e ductilidade em relação ao ferro fundido cinzento. (ŞEKER *et al*, 2003). A grafita presente na microestrutura do ferro fundido nodular atua como inibidores de trincas, além de fornecerem boa ductilidade ao material. (MALUF, 2002).

Ferrita e perlita são basicamente a composição da matriz metálica dos ferros fundidos nodulares. A quantidade de cada fase tem influência nos parâmetros metalúrgicos tais como: dureza, limite de escoamento, limite de resistência, fadiga, características do desgaste e usinabilidade. (MARMENTINI, 2009).

### 3.6.1 Usinabilidade do ferro fundido nodular

A usinabilidade está relacionada com o desgaste sofrido por uma ferramenta durante um processo de usinagem, deste modo, quanto maior for a usinabilidade de um material, mais de usinar ele é, logo uma ferramenta que usinar um material de alta usinabilidade, ira ter uma vida útil maior. (GUESSER, 2009)

Por causa da existência da grafita na microestrutura, o ferro fundido nodular apresenta boa usinabilidade (AGUIAR,1999). A grafita causa essa boa usinabilidade pois ajuda na lubrificação da ferramenta assim como na descontinuidade que produz na microestrutura, desse modo, provocando um cavaco mais quebradiço. (BOEHS *et al*, 2000). No entanto, a quebra do cavaco no ferro fundido nodular ocorre de forma que ele permanece por mais tempo em contato com a ferramenta, de tal forma que, agrava mais os mecanismos de desgaste. Os cavacos formados pelo ferro fundido nodular são maiores que os do ferro fundido cinzento, devido que no nodular antes da quebra do cavaco, ele passa pelo processo de deformação da matriz e alongamento dos nódulos da grafita, até que ocorra a fratura do cavaco, desta maneira agravando os processos de desgaste da ferramenta. (GUESSER,2009). São necessários critérios para determinar essa usinabilidade, sendo estes: vida útil de corte, força de corte, potência necessária para usinagem e acabamento superficial. (AGRUIAR, 1999). Sendo os elementos de liga com, alumínio (Al), silício (Si), níquel (Ni), cobre (Cu) e enxofre (S), melhoram a usinabilidade já que são elementos grafitizantes, enquanto que elementos como cromo (Cr), cobalto (Co), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e tungstênio (W), prejudiciais a usinabilidade, pois formam carbonetos que implementam partículas duras e abrasivas ao material. (TELES,2007)

## 3.7 REVESTIMENTO

### 3.7.1 Histórico sobre revestimento

Os primeiros vestígios sobre aplicações de revestimentos, cujo objetivo era melhorar a resistência ao desgaste de peças, datam da década de 1930, resultados dos fabricantes de relógios suíços cujo objetivo era aumentar a vida útil dos componentes. (SANTOS e SALES, 2007).

Já os revestimentos visando à melhoria do desempenho de ferramentas, pode ser abordada no contexto da evolução dos materiais das mesmas. A busca por ferramentas que reunissem tanto boa tenacidade no núcleo como elevada dureza na periferia, resultou no desenvolvimento dos revestimentos. As primeiras pesquisas com intuito de desenvolver revestimentos para ferramentas foram registradas durante a segunda metade da década de 1960. (CUNHA LIMA, 2016)

Em 1969 segundo SANTOS *et al.* (2007), foram inseridas no mercado as primeiras ferramentas revestidas com TiC, sendo desenvolvidas pela Sandvik, cujas ferramentas apresentaram excelentes resultados referentes à resistência ao desgaste abrasivo, adesivo, oxidação e deformação plástica. Segundo os pesquisadores, o comportamento dessas ferramentas revestidas com TiC depende do processo de usinagem a qual são empregadas, podendo ter uma maior ou menor eficiência dependendo do processo. Dessa forma, ferramentas revestidas chegaram a ter uma produtividade de duas a três vezes maiores, quando comparadas as ferramentas não revestidas. (CUNHA LIMA, 2016)

Segundo, Astakhov (2006) *apud* Cunha Lima (2016), em sua pesquisa para correlacionar os materiais de revestimento de acordo com seus desempenhos, definiu que, basicamente, existem quatro grandes grupos de materiais de revestimentos no mercado. O grupo mais popular é o dos revestimento a base de titânio, como TiN, TiC e Ti(C, N). A fase metálica é complementada muitas vezes por outros metais como Al e Cr, que são adicionados para melhorar algumas propriedades particulares como dureza, resistência a oxidação, etc.

### **3.7.2 Materiais e revestimentos para brocas**

Cada vez mais desenvolve-se novos meios de meios de revestimentos ou técnicas de deposição que promovem ferramentas mais produtivas. Nos dias atuais a aplicação de ferramentas de aço rápido com revestimentos garantem tempo de vida útil maior com relação à ferramentas de corte sem revestimento. O processo de revestimento tem sido cada vez mais estudado e o domínio do processo PVD garantem hoje a popularização e aplicação do método a custos bem modestos. (DINIZ *et al.*, 2010)

A aplicação de revestimentos nas brocas helicoidais gera ganho nas propriedades da ferramenta, o que, por consequência, aumenta sua vida útil gerando

maior produtividade. Os mesmos promovem um aumento na resistência ao desgaste, reduzem a rugosidade na superfície de saída da ferramenta, funcionam como isolante térmico e químico, com isso reduzem os esforços na usinagem, pois quanto menor a temperatura e a maior a proteção contra elementos corrosivos e oxidantes, menores serão os desgastes na ferramenta. (BOARK, 1995 *apud* OLIVEIRA, 2008)

Alguns dos revestimentos mais utilizados nos dias de atuais são: TiC, TiN, TiCN e o TiAlN, normalmente executados pelo método de deposição física de vapor (PVD), onde é possível realizar a aplicação de uma nova camada após a reafiação da ferramenta sem alterações significantes de diâmetro e formato (não mudando o formato do local revestido). (BERG *et al*, 2002 *apud* OLIVEIRA, 2008)

### **3.7.3 Revestimento de nitreto de titânio (TiN)**

Comumente sendo um dos materiais para revestimentos mais utilizados industrialmente, o nitreto de titânio apresenta uma elevada dureza (18-21 Gpa), uma redução do coeficiente de atrito, boa resistência ao desgaste à alta temperatura e resistência a oxidação. Por conta dessas propriedades torna-se um candidato ideal para diversas aplicações na usinagem (utilizada para cortes, desbaste entre outros), sendo uma delas, para o processo de furação, onde, a mesma por conta destes benefícios, prolonga a vida da ferramenta (SILVA, 2010 *apud* CUNHA LIMA (2016). Para ter alta eficiência deve-se certificar que a camada de revestimento ficou bem aderida ao substrato da ferramenta (SILVA, 2010 *apud* CUNHA LIMA (2016). As propriedades do TiN estão representadas na Tabela 1.

**Tabela 1** - Propriedades do nitreto de titânio

| Composição                | TiN <sub>0,6</sub> a TiN <sub>1,1</sub>                     |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Espessura do revestimento | 1 a 6 $\mu\text{m}$                                         |
| Cor                       | dourada                                                     |
| Ponto de fusão            | 2950°C                                                      |
| Condutividade térmica     | 19,2 W/m°C para um monocristal                              |
| Resistividade elétrica    | 20 $\mu\Omega\text{ cm}$                                    |
| Dureza                    | 18-21 GPa                                                   |
| Módulo de elasticidade    | 251 GPa                                                     |
| Resistência à oxidação    | começa a oxidar em aproximadamente 600°C                    |
| Resistência química       | inerte para a maioria dos reagentes em temperatura ambiente |

**Fonte:** TENTARDINI (2004) (*Apud* CUNHA LIMA, 2016)

Sendo um material cerâmico, o nitreto de titânio é constituído de uma estrutura cristalina do tipo cúbica de face centrada. E seus compostos possuem propriedades metálicas de condutor elétrico e reflectância metálica. (PIERSO, 1996; JEYACHANDRAN, 2007 *apud* CUNHA LIMA, 2016)

Outra característica importante do TiN é seu bom custo benefício, sendo indicado para utilização em ferramentas que irá usinar peças de diferentes materiais. (SANTOS e SALES, 2007 *apud* CUNHA LIMA, 2016)

O TiN não é um material com dureza tão elevada quanto outros materiais usados para revestimento, mas sua utilização se dá por favorecer a formação de um baixo coeficiente de atrito na face da pastilha, resultando na melhoria da resistência ao desgaste por crateras na usinagem de materiais ferrosos. (CUNHA LIMA, 2016)

Os filme de TiN podem apresentar colorações diferentes devido composição química e espessura. A cor do TiN depende da relação N/Ni, variando desde cinza claro ao marrom avermelhado, podendo em condições estequiométricas se torna dourado. Nestas condições se obtém alto acabamento e brilho a ferramenta, o que facilita a detecção do seu desgaste. (TALES, 2007 *apud* CUNHA LIMA, 2016)

A espessura do filme TiN tem influência direta no coeficiente de atrito (pois quanto mais espesso, menor esse coeficiente, porém, existe uma determinada espessura onde não se tem melhores resultados) e conseqüentemente no tempo de vida útil dos componentes revestidos. As ferramentas de corte que foram revestidas com TiN apresentam uma vida útil de serviço com mais de duas vezes se comparado com ferramentas sem revestimentos. (DAUDT, 2012 *apud* CUNHA LIMA, 2016)



### 3.8 NITRETAÇÃO

A nitretação é um processo de tratamento superficial cujo objetivos, são: elevar dureza, aumentar a resistência à fadiga, aumentar a resistência ao desgaste e a corrosão, e ainda conserva a tenacidade do material tratado. Isso se deve ao fato do tratamento ocorrer em temperaturas abaixo de 500 °C, não gerando alteração de dureza do substrato endurecido no tratamento térmico, devido a temperatura do tratamento de nitretação estar abaixo da dureza a quente do aço rápido. (DOS SANTOS *et al.*, 2013)

#### 3.8.1 Nitretação a plasma

O processo de nitretação a plasma engloba um complexo conjunto de fenômenos. Através de uma fonte de tensão elétrica pulsada é gerada uma diferença de potencial na magnitude de 400 à 800V, isso ocorre entre a câmara (carcaça) e o porta amostra. Onde a câmara está num ambiente de baixa pressão (10-1 mbar) e numa atmosfera de Argônio e/ou Hidrogênio o gás é ionizado formando o plasma. Devido ao campo elétrico negativo da porta amostra, a peça é bombardeada ionicamente pelo plasma e desse modo, é aquecida. Após atingir a temperatura desejada, é introduzido o gás de mistura (Nitrogênio e Hidrogênio). O nitrogênio atômico irá difundir-se para o interior da peça formando a camada de difusão com a presença de diversos nitretos dispersos na matriz de ferro, dessa maneira, modificando as condições superficiais da peça. (KIECKOW (2006), *Apud* DOS SANTOS *et al.*, 2013).

Os fatores Segundo, Tier (1998); Rocha (2000) *Apud* Dos Santos *et al.*, 2013, que influem na formação da camada (como: espessura, composição e microestrutura) e na microdureza no processo de nitretação a plasma são:

- Tempo de tratamento;
- Temperatura de nitretação;
- Concentração de elementos fortemente formadores de nitretos (W, Mo, Cr, V, Ti e Al) na peça a nitretar;
- Microestrutura, geometria e tamanho da peça;

- Pressão de trabalho no reator;
- Composição da mistura do gás de trabalho ( $N_2=H_2$ );
- Tensão elétrica de trabalho;
- Corrente elétrica de trabalho.

O segundo ponto (temperatura de nitretação) permite termodinamicamente que os nitretos se formem e determina a taxa de difusão do nitrogênio no substrato. Normalmente, o processo pode ser desenvolvido com temperaturas na faixa de 350 à 550 °C, em que a relação entre profundidade de camada nitretada e a temperatura segue o comportamento descrito pelas leis de Fick. (CALLISTER, 2001)

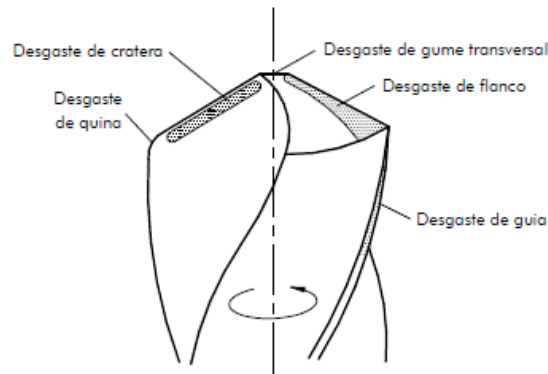
Pelo fato de não necessitar de têmpera no processo e à baixa temperatura utilizada, a nitretação a plasma produz menores distorções e deformações comparado a outros processos termodinâmicos de endurecimento. O processo de nitretação a plasma tem também o efeito desoxidante no substrato do aço rápido, tornando-o menos sensível a adsorção de  $H_2O$  e Hidróxidos  $OH^-$ . (KIECKOW, 2008 *Apud* DOS SANTOS *et al.*, 2013)

### 3.9 DESGASTES NA BROCA

O desgaste em ferramentas de corte, segundo Diniz (2006), pode ser definido como a gradual perda de material pela ação em conjunta da peça e ferramenta e o cavaco e ferramenta, devido solicitações mecânicas, térmicas ou químicas. Os principais mecanismos de desgaste das ferramentas de corte são: aderência, abrasão, oxidação, difusão e attrition. Devido a velocidade de corte e a dificuldade em expulsar os cavacos da zona de corte, a abrasão mecânica se caracteriza como o principal mecanismo de desgaste das brocas. Em termos de furação, os tipos de desgastes mais medidos são os de flanco e cratera, sendo os mesmos utilizados como critério para o fim da vida útil da ferramenta (OLIVEIRA, 2008). A superfície de folga tem desgaste decorrente do forte atrito entre a mesma e a superfície da peça usinada. Tendo a velocidade radial máxima em sua periferia, a broca apresenta seus maiores desgastes nessa área. Já o desgaste de cratera ocorre mais comumente na superfície de saída da ferramenta, causado pelo atrito gerado durante o deslizamento do cavaco. Além dos desgastes mais comuns como os de flanco e cratera, as brocas podem

apresentar desgaste de aresta transversal, desgaste de quina e desgaste das guias laterais (CASTILLO,2005). Conforme a Figura 6 mostra:

**Figura 6** - Desgastes na broca helicoidal



**Fonte:** CASTILLO, (2005)

Devido ao primeiro contato da ferramenta com a peça ser na aresta transversal Figura 6 da broca, essa região sofre alto índice de desgaste. Existindo um progressivo desgaste pelo esmagamento do material nessa região devido as grandes solicitações mecânicas associadas a velocidade de corte tendendo a zero nesta região. Nas quinas (demonstrado na Figura 6) também existe um intenso desgaste, porém, neste caso se dá devido às solicitações térmicas relacionadas à grandes velocidades de corte nesta região e ao calor gerado pelo atrito do cavaco na superfície de saída, assim como o atrito das guias (demonstrado na Figura 6) contra a parede do furo. (CASTILLO, 2005)

A não utilização do fluido de corte gera um maior atrito entre a superfície da broca e as paredes do furo, assim aumentando a temperatura no local, o que acarreta o efeito *Stick slip*, que se trata da aderência e escorregamentos consecutivos das superfícies em questão. Tal fenômeno gera maiores vibrações e trepidações no processo de corte, podendo levar a ferramenta a quebra catastrófica. (BINKSMEIER, 1990; DE CASTRO, 2001). Como também a não utilização do fluido de corte prejudica na saída do cavaco, sendo que o mesmo se prende na superfície de saída da broca, de tal maneira a aumentar os esforços de torção, podendo levar a ruptura da broca. (ZEILMANN, 2008. Com o aumento da área da aresta transversal (devido seu desgaste), a rotação existente no local (mesmo que sendo mínima em relação as outras partes do flanco da broca) e as altas temperaturas, pequenas soldas podem

ocorrer, de tal maneira a aumentar os esforços de torção, podendo causar a ruptura ao longo da broca. (CASTILLO, 2005)

### **3.9.1 Critérios de fim de vida e desgastes em brocas**

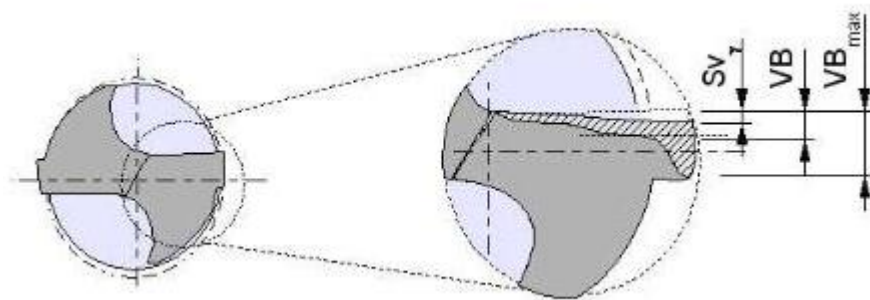
A vida efetiva de uma ferramenta é determinada por meio do tempo que a mesma trabalha efetivamente até que sua capacidade de corte acabe-se, na qual critérios para determinar esse fim de vida são previamente estabelecidos, e após a ferramenta atingir um desses critérios, a mesma deve ser reafiada ou substituída (FERRARESI, 1977). Vários critérios podem ser adotados na furação para determinar o fim de vida da ferramenta, porém, quando se deseja reutilizar a ferramenta através da reafiação, são tomados como critérios os desgastes nos flancos principais e secundários, e os desgastes de quina. (BORK, 1992 *apud* OLIVEIRA, 2008). Existem também outros critérios para determinar esse fim de vida útil, podendo ser: desvios de tolerância dimensionais do furo, perda de qualidade superficial da peça, aumento dos níveis de vibrações ou temperatura (PIMENTEL, 2014).

Segundo a ISO 3585 (1977), os principais critérios de fim de vida para ferramentas de corte de aço rápido, metal duro e cerâmica são:

- Desgaste do flanco médio  $V_b = 0,3\text{mm}$  e  $V_{b\text{max}} = 0,6\text{mm}$ ;
- Profundidade da cratera,  $K_T = 0,06 + 0,3f$ ;
- Desgaste de entalhe,  $V_N = 0,1\text{mm}$ ;
- Falha catastrófica.

No processo de furação, os critérios de desgaste mais utilizados são os de flanco e de cratera (CASTILLO, 2005).

**Figura 7 - Desgaste de flanco médio e máximo**



**Fonte:** STOETERAU, 2012

Durando o processo de furação a velocidade de corte apresenta grande influência sobre o calor gerado, de tal forma que acaba acelerando o processo de desgaste da ferramenta. Os desgastes existentes nas brocas são: o de flanco médio ( $V_B$ ) e o desgaste de flanco máximo  $V_{Bmax}$  Figura 7, o desgaste de cratera ( $K_m$ ), o desgaste de quina ( $W$ ), o desgaste do gume transversal ( $C_t$  e  $C_m$ ) e o desgaste da guia lateral ( $M_w$ ). o desgaste de cratera é ocasionado pelo deslizamento do cavaco sobre a superfície de saída da ferramenta e da difusão entre os mesmos (SCHROETER e WEINGAERTNER, 2001).

### 3.10 MECANISMOS DE DESGASTE

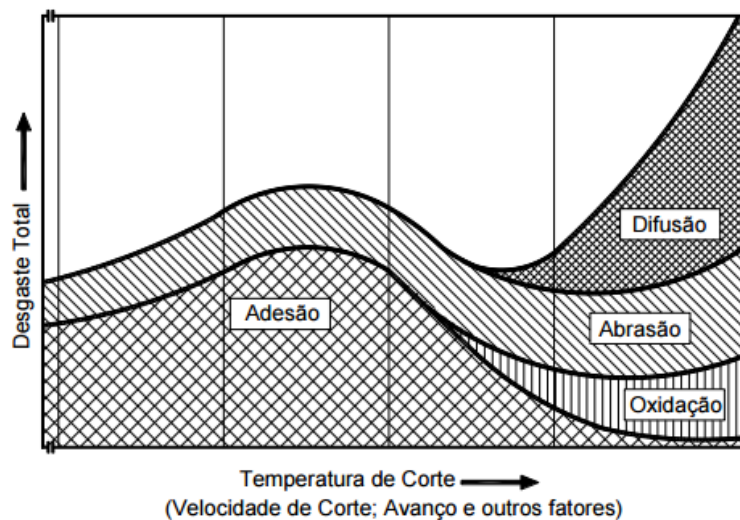
A compreensão dos mecanismos de desgaste nas ferramentas é de fundamental importância, pois a partir deles permite-se minimizar as avarias e desgastes nas ferramentas, aumentando a vida útil das mesmas. Apesar de buscar-se materiais com maior resistência ao desgaste e dureza elevada, no processo de usinagem o desgaste sempre irá ocorrer na ferramenta (pois mesmo que tenha uma dureza mais elevada que a peça, o desgaste irá ocorrer, mesmo que de forma inferior ao da peça), e sua troca se torna inevitável. (CAVALCANTE, 2010)

Para Diniz *et al.* (2006) e Ferraresi (1977), As ferramentas de corte sofrem diversas formas de desgaste, sendo considerado como desgaste a perda contínua de partículas de material da ferramenta em escala microscópica nas superfícies de saída e de folga da mesma. Por sua vez a avaria é definida como a destruição da ferramenta de corte de forma repentina e inesperada.

Na Figura 8 é apresentado um diagrama que distribui os mecanismos de desgaste das ferramentas de corte, em função da temperatura e de outros parâmetros de desgaste (como velocidade de corte e avanço). (CAVALCANTE, 2010)

A furação apresenta vários mecanismos de desgaste Figura 8 que causam a diminuição da vida para as ferramentas de corte. (CAVALCANTE, 2010)

**Figura 8** - Diagrama de distribuição dos mecanismos de desgaste das ferramentas de corte



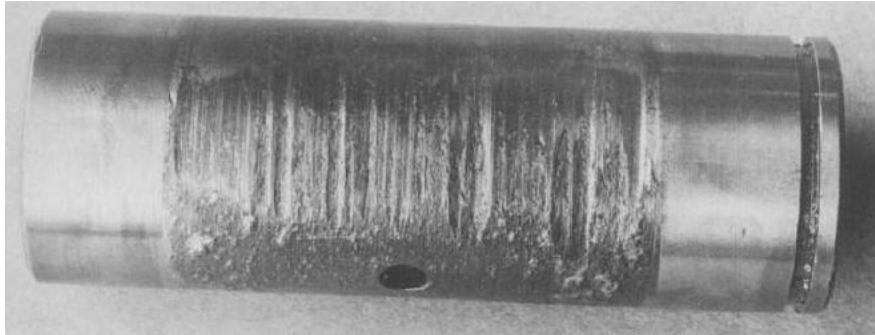
Fonte: KONIG e KLOCK, 1997 *apud* CAVALCANTE, 2010

Importante observar no diagrama a verificação que para baixas temperaturas, só irá existir adesão e abrasão de mecanismo de desgaste nas ferramentas. E a medida que a temperatura vai aumentando nota-se que surgem outras formas de mecanismos de desgastes, como é o caso da oxidação e a difusão. Para temperaturas mais elevadas, maiores serão os desgastes na ferramenta. (CAVALCANTE, 2010)

Durante a utilização de brocas, a aparição do desgaste, principalmente em suas quinas é inevitável, se observando também o atrito entre as guias com a parede do furo e com o próprio cavaco. A análise de todos esses mecanismos de desgaste é imprescindível para uma melhor eficiência do processo de furação, já que com essa análise tem-se maiores condições de combate-los. (CAVALCANTE, 2010)

### 3.10.1 Abrasão

**Figura 9 - Desgaste Abrasivo**



**Fonte:** QUINTAS, 2013

Esse tipo de mecanismo de desgaste Figura 9 ocorre quando há a remoção ou deslocamento da superfície do material da ferramenta de corte por meio do atrito das partículas (do material da ferramenta) de dureza relativamente maior que as do material da peça, estas estando soltas ou presas numa superfície de contato (Machado *et al.*, 2000). Segundo, Stemmer (1995 *apud* CAVALCANTE, 2014), o desgaste por abrasão está relacionado com o aumento da velocidade de rotação, pois aumenta a temperatura na ferramenta de corte, considerando ser maior (com a maior rotação) a retirada de finas partículas de material por causa do escorregamento sob alta pressão e temperatura entre a peça e a ferramenta de corte. (CAVALCANTE, 2010). O autor Marques (2012) realizou furações em brocas helicoidais, e efetuou a análise dos mecanismos de desgaste.

**Figura 10** - Desgaste abrasivo numa broca helicoidal

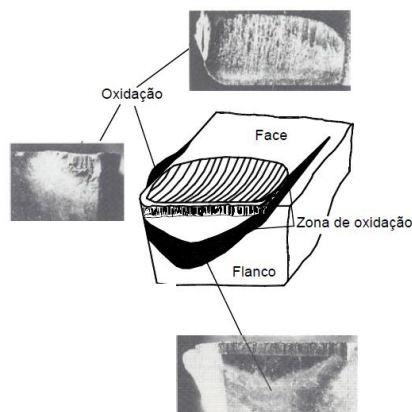


Fonte: MARQUES, 2012

Com a utilização do MEV (microscópio eletrônico de varredura) foi possível constatar a existência de abrasão Figura 10 na superfície da broca após as furações realizadas.

### 3.10.2 Oxidação

**Figura 11** - Zonas de oxidação



Fonte: CASTILLO, 2005

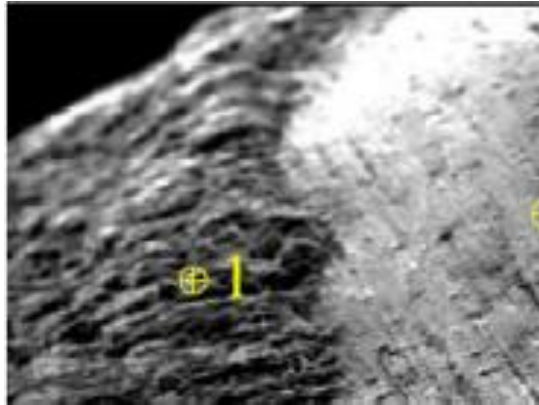
A oxidação Figura 11 é um mecanismo de desgaste decorrente da combinação do material da ferramenta com o ar a uma elevada temperatura, que depende do material utilizado na ferramenta de corte pois cada material tem suas características próprias a oxidação (FERRARESI, 1977). Geralmente afeta a aresta de corte da ferramenta já que a mesma é quem está sobre maior temperatura, isso faz com que



o acabamento superficial seja prejudicada. Um meio de se evitar o aparecimento da oxidação é utilizando um revestimento na ferramenta de corte, uma vez que essa técnica gera uma maior resistência a corrosão. (CASTILLO, 2005; DINIZ *et al.*, 2010)

### 3.10.3 Adesão

**Figura 12** - Desgaste por adesão

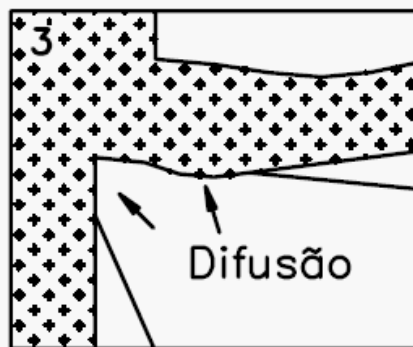


**Fonte:** MASQUES, 2012

A aderência Figura 12 tende a ocorrer quando existem duas superfícies metálicas em contato sob efeito de cargas de tensão e/ou compressão. Esse mecanismo ocorre na maioria das vezes em velocidades de corte baixas e baixos avanços, MACHADO (2009) e Reis (2005 *apud* CAVALCANTE, 2014). O causador da aderência é o fluxo irregular de cavaco que passa pela superfície de folga e/ou saída da ferramenta de corte. O desgaste por aderência pode ocorrer com ou sem a formação da aresta postiça de corte, dependendo do calor na região e da afinidade dos materiais. (DINIZ *et al.*, 2010).

#### 3.10.4 Difusão

**Figura 13** - Desgaste por difusão



**Fonte:** DA SILVA, 2010

O mecanismo de desgaste por difusão Figura 13 se dá pelo transporte de massa através do movimento dos átomos, e no caso de superfícies sólidas essa transferência se dá de uma superfície para outra. Para que ocorra a difusão, necessita-se de três condições, sendo estas: temperatura elevada na região onde ocorre o contato, tempo da permanência desse contato e afinidade química entre os materiais. Sendo um dos desgastes mais ocorrentes pelo mecanismo de difusão, o desgaste do tipo cratera, que ocorre quando associado às condições de altas temperaturas de corte. A difusão só existirá como mecanismo de desgaste em ferramentas de corte, quando existir o contato íntimo por duas superfícies envolvidas. (DINIZ *et al*, 20010)

A ocorrência dos mecanismos de desgaste nas ferramentas de usinagem, ocorre de forma espontânea, assim, não tem como eliminá-los, porém, existem meios de minimizá-los, sendo uma dessas formas a implementação da ferramenta por meio de um revestimento. (CASTILLO, 2005)

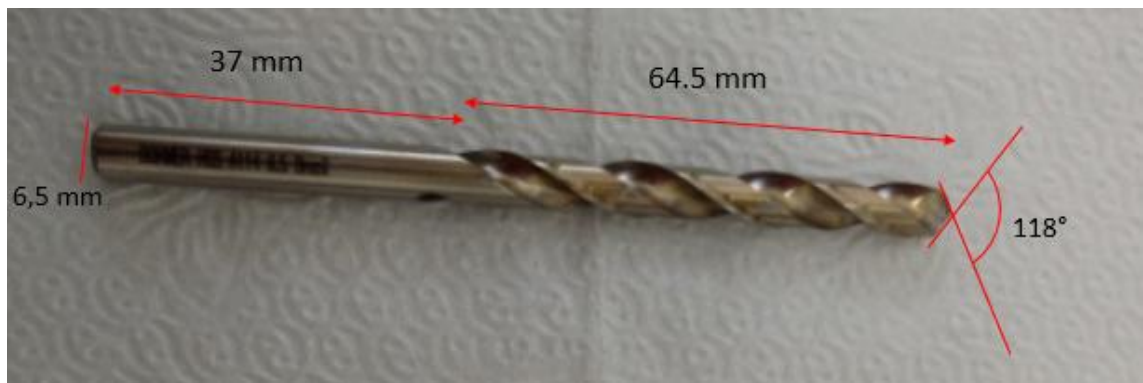
## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico trataremos dos materiais e equipamentos utilizados nos experimentos de furação e análise dos desgastes das ferramentas em questão.

### 4.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

#### 4.1.1 materiais utilizados

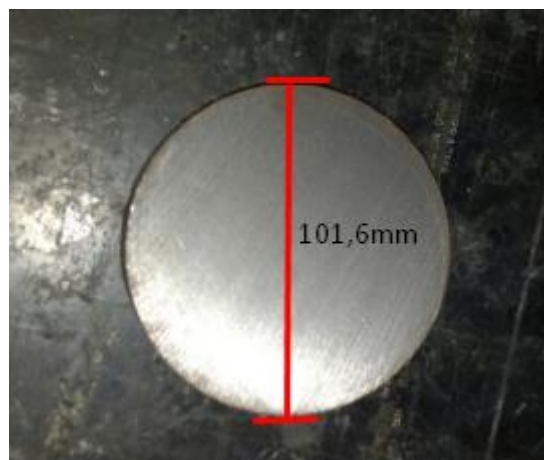
**Figura 14** - Dimensões das Brocas



**Fonte:** Autoria Própria

As brocas utilizadas Figura 14 para os ensaios são de aço rápido da série HSS DIN 338 M2, com comprimento de 101,5mm, um diâmetro de 6,5mm, e com ângulo de ponta de 118°.

**Figura 15** - Tarugo utilizado para realização dos furos



**Fonte:** Autoria Própria

O material a ser furado Figura 15 é de ferro fundido nodular (aquisição própria) com espessura de 2,5cm e com diâmetro de 101,6 mm (As propriedades mecânicas, ensaios submetidos, microestrutura e sua composição seguem no APÊNDECE A).

#### 4.1.2 Equipamento para realização da limpeza e da nitretação.

Antes de dar início a nitretação a plasma, foi efetuada uma limpeza na atmosfera do reator para evitar uma contaminação devido a óxidos e/ou outros tipos de contaminantes. Abaixo é apresentado a Tabela 02 com os parâmetros (parâmetros esses que foram baseados em outros autores e na literatura) da limpeza efetuada dentro do próprio reator:

**Tabela 02 – Parâmetros da Limpeza**

| Parâmetros da Limpeza |                                 |              |                |               |                   |
|-----------------------|---------------------------------|--------------|----------------|---------------|-------------------|
| Tempo total           | Composição dos gases utilizados | Tensão Média | Corrente Média | Pressão Média | Temperatura Média |
| 20min                 | 50% de $A_r$<br>+<br>50% $H_2$  | 532V         | 0,11A          | 0,5mBar       | 200 °C            |

**Fonte:** Auto Própria

A limpeza sendo efetuada, dá-se início a nitretação a plasma nas brocas de aço rápido. Para a nitretação foi utilizado um reator de plasma Figura 16 localizado no prédio do CITED na UFERSA campus Mossoró.

**Figura 16 - Reator de Plasma**



**Fonte:** Autoria Própria

As brocas foram posicionadas na vertical dentro de furos (cada broca em um furo diferente) efetuados no porta amostras e foram presas por parafusos implementados na lateral do porta amostra para evitar o escorregamento das mesmas, esse modelo de arrumação das brocas foi escolhido para poder nitretar as três ao mesmo tempo sem que as mesmas se tocassem. Abaixo encontrasse a Tabela 03 com os parâmetros (parâmetros esses que foram baseados em outros autores e na literatura) utilizados na nitretação:

**Tabela 03 – Parâmetros da nitretação**

| <b>Parâmetros da Nitretação</b> |             |              |                |               |                   |
|---------------------------------|-------------|--------------|----------------|---------------|-------------------|
| Composição dos gases utilizados | Tempo Total | Tensão Média | Corrente Média | Pressão Média | Temperatura Média |
| 80% $H_2$<br>+<br>20% $N_2$     | 60min       | 705V         | 0,34A          | 0,8mBar       | 450°C             |

**Fonte:** Autoria Própria

#### 4.1.2.1 equipamento para realização dos furos.

Foi utilizado uma furadeira de coluna CLARK modelo FC35A, que fica localizada no laboratório de produção mecânica na UFERSA campus Mossoró.

Para o processo de furação foram determinados os parâmetros Tabela 04 de acordo com Sousa (2014):

**Tabela 04: Parâmetros de corte**

| <b>Parâmetros de Corte</b> |               |         |
|----------------------------|---------------|---------|
| Avanço                     | Vel. De Corte | Rotação |
| 0.01mm/rot                 | 22m/min       | 1038rpm |

**Fonte:** Autoria Própria

No processo de furação foram adotados as condições mais severas de usinagem, sendo as mesmas: o furo em cheio e a não utilização de fluido de corte.

4.1.2.2 equipamento utilizado para analisar o desgaste das brocas e determinar seu fim de vida.

**Figura 17** - Microscópio Digital



**Fonte:** Autoria Própria

Foi utilizado um microscópio digital Figura 17 dá Eletronic Magnifier com capacidade de aumento de 1000x, sendo que antes do início das análises foi efetuado uma calibragem com o auxílio de um bloco padrão da Mitotoyo de 1.005mm de espessura. Efetuado a calibração do microscópio, as análises de desgaste eram efetuadas a cada dois furos, e o local de observação escolhido foi o flanco (definido a partir de autores e literatura), sendo que no mesmo, o critério adotado para o fim de vida da ferramenta foi o desgaste de flanco médio, quando o mesmo alcance o valor de 0,30mm.

4.1.2.3 equipamento para realização das análises dos mecanismos de desgaste

Para efetuar as análises dos mecanismos de desgaste foram utilizados os seguintes equipamentos encontrados no LabPlasma que se localiza no CITED na UFERSA campus Mossoro: microscópio NIKON eclipse MA 100 com um aumento de imagem de 100x para análise do desgaste na aresta principal de corte e no flanco, e a câmera NIKON DS-Fi2, para obtenção das imagens no computador. Sendo que para a obtenção das imagens para análise dos mecanismos de desgaste, se fez necessário

capturar 50 fotos e depois uni-las com auxílio do software Nis-Elements, para formar uma única imagem com a melhor nitidez possível.

## 5. RESULTADOS

Neste capítulo será apresentado os resultados dos ensaios de furação com os 3 tipos de broca, e análises no microscópio para determinação o fim de vida, em seguida a análise dos mecanismos de desgaste por meio de um microscópio óptico.

### 5.1 RESULTADO DA ANÁLISE DOS FUROS

#### 5.1.1 Brocas não revestidas

**Figura 18** - Fim de vida da broca 1 não revestida



**Fonte:** Autoria Própria

Na primeira broca não revestida Figura 18, foi possível analisar um desgaste muito agressivo, fazendo com que a broca chegasse ao fim de vida com uma pequena quantidade de furos (10 furos). Resultado esse que pode ter ocorrido devido alguns fatores, tais como: as condições severas imposta, que acarretaram no aumento da temperatura na ponta da broca de tal forma a agravar os desgastes (pois com o aumento da temperatura diminuiu a resistência mecânica do material) e o alto desgaste precoce de quina, acarretou um grande desgaste prematuro na aresta principal.



**Figura 19** - Fim de vida da broca 2 não revestida



**Fonte:** Autoria Própria

Na segunda broca não revestida Figura 19, o desgaste foi mais suave com o passar dos furos, mas também se deu início na quina e na aresta transversal, e com o passar do tempo o resto do gume cortante foi se desgastando, chegando ao fim de via no 32° (trigésimo segundo) furo.

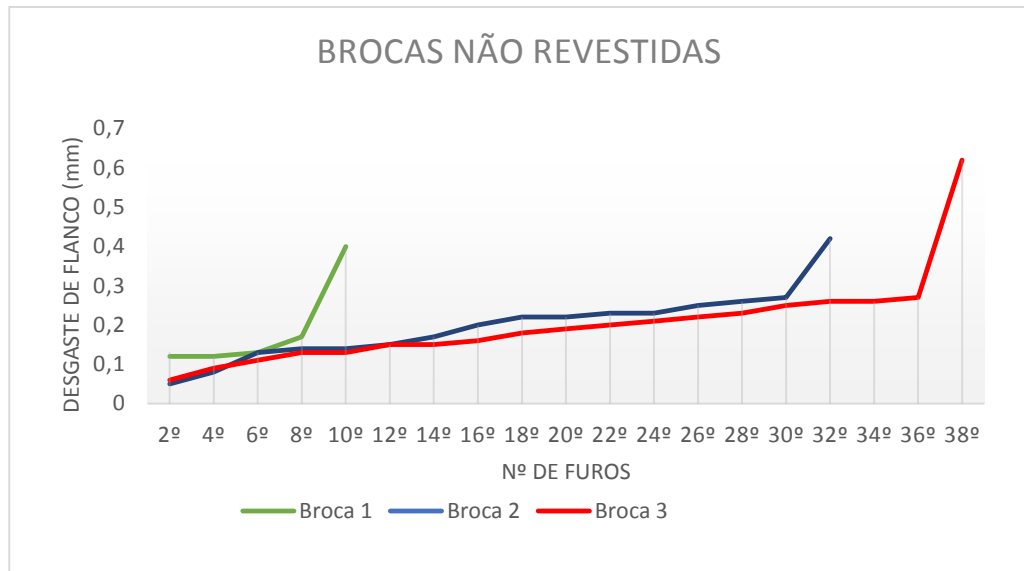
**Figura 20** - Fim de vida da broca 3 não revestida



**Fonte:** Autoria Própria

Na broca 3 não revestida Figura 20, ocorreu o mesmo que na anterior, no entanto chegando ao fim de vida no 38º (trigésimo oitavo) furo.

**Gráfico 1** – comparativo do desgaste nas brocas não revestidas



**Fonte:** Autoria Própria

Com relação ao gráfico das três brocas Gráfico 1, observasse que todas as brocas não revestidas apresentam um grande desgaste inicial e depois se estabiliza (com exceção da broca 1), isso se dá provavelmente, devido que é seu primeiro processo de furação e a mesma está se acostumando aos esforços, e também observou-se um grande desgaste no gume transversal em todas elas de forma precoce, isso devido que nesse ponto a velocidade de rotação é quase nula, e é a primeira parte da broca que entra em contato com a peça, assim, sendo submetida a grandes esforços de compressão. (CASTILLO, 2005). Observou-se também o desgaste inicial de quina, ocorrendo devido ao gradiente de temperatura existente na broca, que aumenta de acordo com o aumento do raio. (CASTILLO, 2005)

### 5.1.2 Brocas revestidas comercialmente

**Figura 21** - Broca 1 revestida que sofreu ruptura



**Fonte:** Autoria Própria

Na primeira broca revestida Figura 21, observa-se que seu desgaste é muito pequeno (em relação as não revestidas) nos primeiros furos e com passar dos furos esse desgaste cresce, no entanto de maneira suave, e no seu 20º (vigésimo) furo ocorre a ruptura no meio da hélice, podendo ter ocorrido devido alguns fatores, como: a não utilização do fluido de corte gera um maior atrito entre a superfície da broca e as paredes do furo, assim aumentando a temperatura no local, acarretando o efeito *Stick slip*, que se trata da aderência e escorregamentos consecutivos das superfícies. Tal fenômeno gera maiores vibrações e trepidações no processo de corte, podendo levar a ferramenta a quebra catastrófica. (BINKSMEIER, 1990; DE CASTRO, 2001). Como também a não utilização do fluido de corte prejudica na saída do cavaco, sendo que o mesmo se prende na superfície de saída da broca, de tal maneira a aumentar os esforços de torção, podendo levar a ruptura da broca. (ZEILMANN, 2008; DINIZ, 2010). Outro fator que pode explicar tal ocorrido, pode ser devido que, com o aumento da área da aresta transversal (devido seu desgaste), a rotação existente no local (mesmo que sendo mínima em relação as outras partes do flanco da broca) e as altas temperaturas, pequenas soldas podem ocorrer, de tal maneira a aumentar os esforços de torsão, podendo causar a ruptura ao longo da broca. (CASTILLO, 2005)

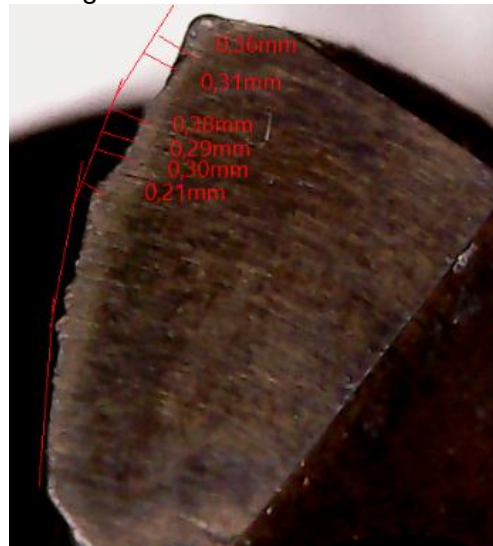
**Figura 22** - Broca 2 revestida que sofreu ruptura



**Fonte:** Autoria Própria

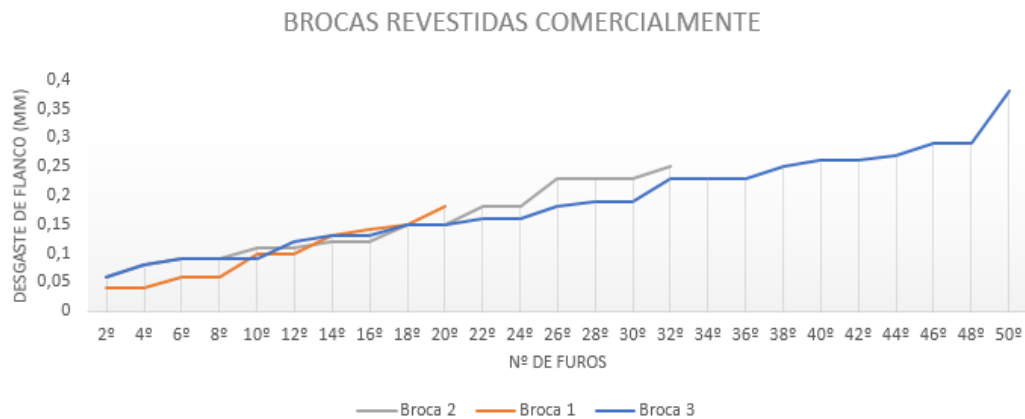
O que difere a broca 2 (dois) Figura 22 dá broca 1 (um) é apenas que ela resistiu um pouco mais, conseguindo atingir 32 (trinta e dois) furos, até chegar na ruptura na hélice, no qual os motivos apontados possíveis são os mesmos que os da primeira.

**Figura 23** - Desgaste da broca 3 revestida comercialmente



**Fonte:** Autoria Própria

Na terceira broca Figura 23 do mesmo modo que nas anteriores, ela também apresentou pequeno desgaste inicial e com o passar dos furos esse desgaste foi aumentando de forma bem suave, conseguindo chegar a efetuar 50 (cinquenta) furos, e diferente das outras duas, essa não chegou a quebrar, e sim a atingir seu fim de vida devido os critérios determinados na metodologia.

**Gráfico 2** - Comparativo do desgaste nas brocas não revestidas

**Fonte:** Autoria Própria

No gráfico 2 observa-se que ambas as brocas revestidas tem um pequeno desgaste inicial (se comparado com as não revestidas e nem nitretadas) e tal desgaste cresce de forma lenta, isso se dá, devido que sua camada de revestimento é quem recebe todo o desgaste inicialmente, e aos poucos o mesmo vai se desgastando, até que o desgaste alcance o substrato, e aí sim, comece a desgastar de forma mais agressiva.

### 5.1.3 Brocas nitretadas a plasma

**Figura 24** - Broca 1 Nitretada

**Fonte:** Autoria Própria

Na primeira broca nitretada Figura 24, encontramos um grande desgaste logo de início, que fez com que seu fim de vida chegasse logo no segundo furo. Isso pode ser devido ao aumento da dureza que o tratamento tem por finalidade obter, e com esse

aumento da dureza vem a fragilização da superfície (tendo em vista que a nitretação é um tratamento na ordem de micrometros de penetração) (SOUZA, 1998). E como na ponta da broca é onde se localiza as maiores temperaturas decorrentes do processo de furação essa região se tornou mais frágil, assim, acarretando um desgaste muito severo.

**Figura 25 - Broca 2 nitretada**



**Fonte:** Autoria Própria

**Figura 26 - Broca 3 nitretada**



**Fonte:** Autoria Própria

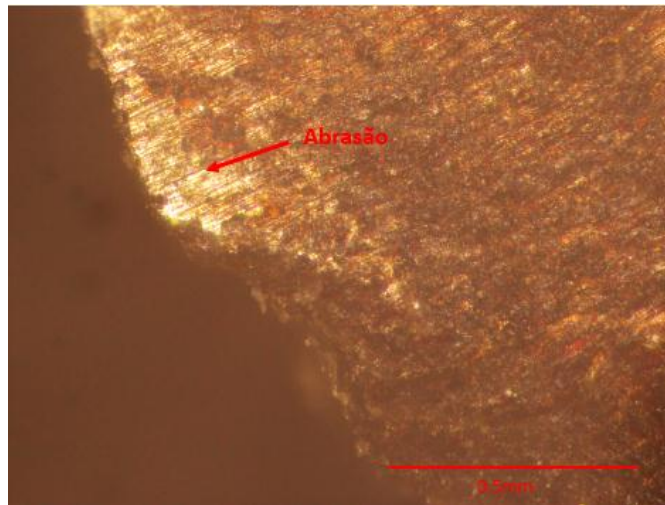
As brocas 2 e 3 Figura 25 e Figura 26 respectivamente, sofreram uma ruptura repentina na sua hélice logo no primeiro furo, fatores que poderiam explicar tal ocorrido são aqueles já mencionados nas brocas revestidas comercialmente que sofreram o mesmo fenômeno.

## 5.2 ANÁLISE DOS MECANISMOS DE DESGASTE

No presente tópico foram analisados os mecanismos de desgaste existentes em cada broca que foi realizado o ensaio de furação.

### 5.2.1 Brocas não revestidas

**Figura 27** - Aresta principal de corte e flanco da broca não revestida



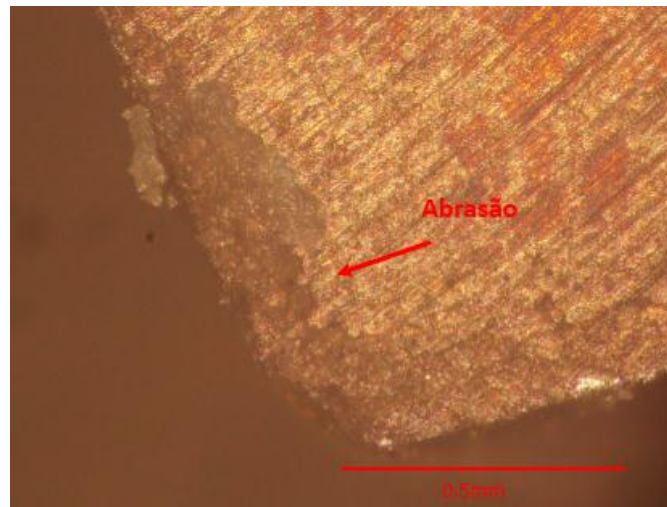
**Fonte:** Autoria Própria

Na aresta principal de corte Figura 27, é possível observar que ocorreu um desgaste por abrasão, tal mecanismos ocorreu devido o atrito entre as superfícies, como foi verificado pelo autor Marques (2012).



### 5.2.2 Brocas Nitretadas

**Figura 28** - Aresta principal de corte e flanco da broca nitretadas

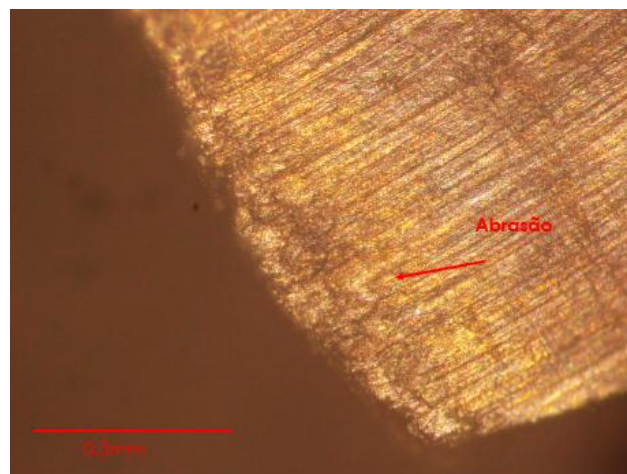


**Fonte:** Autoria Própria

Do mesmo modo que na broca não revestida, podemos observar desgaste por abrasão Figura 28, que ocorreu pelo motivo já citado, analise essa que também foi observada por Marques (2012).

### 5.3.3 Brocas revestidas

**Figura 29** - Aresta Principal de Corte e flanco da broca revestida



**Fonte:** Autoria Própria

Por base em Marques (2012), podemos observar que na broca revestida com TiN apresentou um desgaste por abrasão.



## 6. CONCLUSÕES

### 6.1 CONCLUSÕES

No presente tópico serão apresentados as conclusões obtidas a partir dos resultados e discursões do presente trabalho.

- A utilização da furação em cheio não é recomendada para esse tipo de serviço, devido ao alto desgaste imposto pelo mesmo.
- A utilização de brocas revestidas, nitretadas ou sem nenhum desses tratamentos, terá pouca influência se as mesmas forem submetidas a condições muito severas de usinagem. Pois como foi observado nos resultados, todas elas chegaram ao final de vida com uma quantidade de furos muito próximas (exceção das nitretadas que chegaram com no máximo 2 furos).
- Os parâmetros de nitretação se mostraram ineficazes, de tal forma, a reduzir a vida útil da broca.
- Para a análise efetuada em relação aos mecanismos de desgaste, só foi possível constatar abrasão em todas as brocas.

## **7. SUGESTÕES**

No presente tópico serão apresentados as sugestões para trabalhos futuros.

- Utilização do fluido de corte nos ensaios de furação e realizar a furação intermitente ou pica-pau.
- A realização do ensaio de dureza e realização da metalografia nas brocas e no material a ser usinado.
- Utilização do MEV para análise dos mecanismos de desgaste.
- Efetuar a deposição do filme de TiN na broca em laboratório e comparar com a revestida no mercado.

## 8. REFERÊNCIAS

ANGIOLETTO, ELIDIO; MALISKA, A. MARIA; OLIVEIRA, A. MENEZES; PAVANITI, H. CEZAR; BRAGO, VALDERES, DRAGO. **Influência dos processos da nitretação gasosa e por plasma na rugosidade de amostras de fe puro sinterizado**, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica. 2000

ARNOLD, D. B. (2000). **Trends that drive cutting tool development**. Metalworking Technology Guide 2000, in Modern Machine Shop online .

ASTAKHOV, V. P. (2006). **Tribology of Metal Cutting** (1 ed.). Oxford, UK: Elsevier.

BOEHS, L.; AGUIAR, C. G.; FERREIRA, J.C. (2000), “A Usinagem do ferro fundido nodular de fundição contínua”, *Máquinas e Metais*, pp.58-72, Jul.

BRINSKSMEIER, E. **Prediction of Tool Fracute in Drilling**, Annals of CIRP, v. 39, 1990. pp 97-100

CASTILLO, W.J.G., **Furação Profunda do Ferro Fundido Cinzento GG25 com Brocas de Metal-duro com Canais Retos**. Tese de M.Sc., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2005.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 7.ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2012. 599p.

CLARK MARCHINE, Disponível em <  
<http://clarkmachine.com.br/Produto/VProduto2/Furadeira%20de%20Coluna%20Clark%20modelos%20FC32A%20e%20FC35A?id=42> >, acesso em 22 de maio de 2017

CUNHA LIMA, RAMSÉS OTTO. **Avaliação de insertos de metal duro revestidos com TiN pelo processo de Gaiola Catódica Rotatória** / Ramses Otto Cunha Lima. - Natal, RN, 2016. 137 f.

DE CASTRO, P.R.A. **Aspectos Tecnológicos da Usinagem a Seco e com Mínima Quantidade de Fluido de Corte na Furação com Broca Helicoidal**. 2001. 178 p. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica da UFSC, Florianópolis-SC.

DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., & COPPINI, N. L. (2010). **Tecnologia da Usinagem dos Materiais** (7 ed.). São Paulo: Artliber Editora.

UFS, Disponível em < <https://pt.slideshare.net/Engenharia.de.Superficies/os-tipos-de-desgaste> >, acesso em 13 de abril de 2017

MACHADO, A. R.; SILVA, M. B., **Usinagem dos metais**, Apostila didática, 7ª versão, 2009.

MALUF, O. **Influência do roleteamento no comportamento em fadiga de um ferro fundido nodular perlítico**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MOCELLIN, F., **Avaliação da Usinabilidade do Ferro Fundido Vermicular em Ensaios de Furação**, Tese de M.Sc., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2002.

OLIVEIRA, V. V., **Influência da Geometria de Brocas Na Furação do Ferro Fundido Vermicular**, Tese de M.Sc., Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, 2008.

REIS, A. M.; MACHADO, A. R.; SILVA, M. B. da; SANTOS, S. C. S., **Usinagem dos metais – furação e rosqueamento**. Apostila didática, 1ª versão, 2005.

RIOS, Rodrigo Marques. **ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA FORÇA DE AVANÇO NO PROCESSO DE FURAÇÃO DE LIGA INCONEL 718**. 2014. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

OLIVEIRA, V. V., **Influência da Geometria de Brocas Na Furação do Ferro Fundido Vermicular**, Tese de M.Sc., Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, 2008.

SANDVIK COROMANT (Org.). Manual Técnico de Usinagem. São Paulo, 2010.

SANTOS, S. C., & SALES, W. F. (2007). **Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: Artliber Editora.

SHARMAN, A.R.C.; AMARASINGHE A.; RIDGWA K., “Tool life and surface integrity aspects when drilling and hole making in Inconel 718”, **Journal of Materials Processing Technology**, v. 200, pp. 424-432, 2008.

SILVA, A.L.C.; MEI, P.R. **Aços e Ligas Especiais**. São Paulo: Edgard Blucher, 3 ed., 2010

SOUZA, Antonio Rogério de. **ESTUDO EXPERIMENTAL DA NITRETAÇÃO EM LIGAS Fe-C E NITROCEMENTAÇÃO NO FERRO PURO POR PLASMA**. 1998. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Ufsc, Florianópolis, 1998.

Sousa, J.A.G. Influência da Microestrutura na Usinabilidade do Ferro Fundido Nodular FE45012 em Diferentes Bitolas. 191f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014

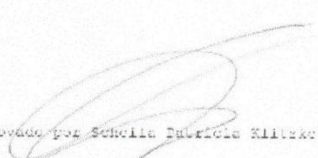
STEMMER, E. CASPAR, **Ferramentas de corte I**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 4ª ed., 1995.

STOETERAU, RODRIGO. **Processos de Usinagem**, Uni-BH, 2012

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte II**. Editora da UFSC, 2007.

Tier, M.A., 1998, **Avaliação da resistência ao desgaste do Aço AISI M2 Nitretado a Plasma**, Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia de Materiais e Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 138 p.

## APÊNDECE A – PROPRIEDADES DO FERRO FUNDIDO NODULAR

|                                                                                                                                                                             |                                                                                                           |              |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|
|                                                                                            |                                                                                                           | Certificado  |          |
| <b>CERTIFICADO DE ENSAIO</b>                                                                                                                                                |                                                                                                           | Nr.: 35113   |          |
| Cliente.....<br>Cidade..... MOSSORO - RN<br>Nota Fiscal...<br>Código Item...<br>Data Fundição: 03.11.2016                                                                   | Data..... 28.11.2016<br>Descrição: PERFIL RED. 104,8X1880 FE45012<br>Classe.... FE 45012 (ABNT NBR 15850) | Nr.Barras: 2 |          |
| <b>RESULTADOS DOS ENSAIOS</b>                                                                                                                                               |                                                                                                           |              |          |
| <b>1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)</b>                                                                                                                                           |                                                                                                           |              |          |
| Cu                                                                                                                                                                          | -                                                                                                         | 0,0480       | - 0,0560 |
| S                                                                                                                                                                           | -                                                                                                         | 0,0100       | - 0,0110 |
| Mn                                                                                                                                                                          | -                                                                                                         | 0,1700       | - 0,2000 |
| C                                                                                                                                                                           | -                                                                                                         | 3,6000       | - 3,7000 |
| Si                                                                                                                                                                          | -                                                                                                         | 2,6000       | - 2,8000 |
| P                                                                                                                                                                           | -                                                                                                         | 0,0650       | - 0,0780 |
| Cr                                                                                                                                                                          | -                                                                                                         | 0,0500       | - 0,0500 |
| Mg                                                                                                                                                                          | -                                                                                                         | 0,0400       | - 0,0500 |
| <b>2 - DUREZA (HB)</b>                                                                                                                                                      |                                                                                                           |              |          |
| Superfície                                                                                                                                                                  |                                                                                                           | Núcleo       |          |
| 157 - 157                                                                                                                                                                   |                                                                                                           | 160 - 160    |          |
| <b>3 - MICROESTRUTURA</b>                                                                                                                                                   |                                                                                                           |              |          |
| MATRIZ                                                                                                                                                                      | Ferrita.....                                                                                              | 95           | (%)      |
|                                                                                                                                                                             | Perlita.....                                                                                              | 5            | (%)      |
|                                                                                                                                                                             | Carbonetos.....                                                                                           | 0            | (%)      |
| GRAFITA                                                                                                                                                                     | Forma.....                                                                                                | I-II         |          |
|                                                                                                                                                                             | Tipo.....                                                                                                 |              |          |
|                                                                                                                                                                             | Tamanho.....                                                                                              | 6-7          |          |
|                                                                                                                                                                             | Nodularização..                                                                                           | 95           | (%)      |
| <b>4 - ENSAIOS MECÂNICOS</b>                                                                                                                                                |                                                                                                           |              |          |
| Resistência a Tração.: 456 MPa                                                                                                                                              |                                                                                                           |              |          |
| Escoamento..... 336 MPa                                                                                                                                                     |                                                                                                           |              |          |
| Alongamento..... 20,1 (%)                                                                                                                                                   |                                                                                                           |              |          |
| Obs.: Os Corpos de prova para Análise Metalográfica e Ensaios Mecânicos são retirados da barra na seção Medio Raio                                                          |                                                                                                           |              |          |
| <b>5 - CONTROLE DIMENSIONAL (mm)</b>                                                                                                                                        |                                                                                                           |              |          |
| 105,7 - 105,7                                                                                                                                                               |                                                                                                           |              |          |
| Joinville, 28 de Novembro de 2016                                                                                                                                           |                                                                                                           |              |          |
| Engenharia de Produtos, Processos e Qualidade                                                                                                                               |                                                                                                           |              |          |
| <br>Aprovado por Scholita Patricia Killeke                                              |                                                                                                           |              |          |
| 2/5                                                                                                                                                                         |                                                                                                           |              |          |
| Rua Albano Schmidt, 3400 - Cep 89227-901 - Joinville SC Brasil   www.tupy.com.br   55 (47) 4009-8534   SAC 0800 727 8200<br><small>Rev. 3/2009 - Rev. 01/Julho/2011</small> |                                                                                                           |              |          |