

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

JACKSON ANTÔNIO SCHMITT

**ANÁLISE E APERFEIÇOAMENTO DO PROCESSO DE AFIAÇÃO DAS BROCAS
DE AÇO-RÁPIDO UTILIZADAS NA USINAGEM DOS PERFIS “U”**

CAXIAS DO SUL

2014

JACKSON ANTÔNIO SCHMITT

**ANÁLISE E APERFEIÇOAMENTO DO PROCESSO DE AFIAÇÃO DAS BROCAS
DE AÇO-RÁPIDO UTILIZADAS NA USINAGEM DOS PERFIS “U”**

Trabalho de Conclusão de Estágio curricular
como pressuposto parcial para obtenção de
grau de Engenheiro Mecânico.

Supervisor: Prof. Me. Eng. Juliano Marcon
Oliveira

CAXIAS DO SUL

2014

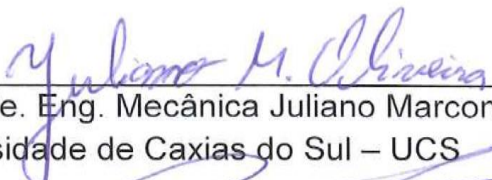
JACKSON ANTÔNIO SCHMITT

**ANÁLISE E APERFEIÇOAMENTO DO PROCESSO DE AFIAÇÃO DAS
BROCAS DE AÇO-RÁPIDO UTILIZADAS NA USINAGEM DOS PERFIS “U”**


Trabalho de Conclusão de Curso de
Engenharia Mecânica para obtenção
de grau de Engenheiro Mecânico da
Universidade de Caxias do Sul – UCS.

Aprovado em: 24/11/2014

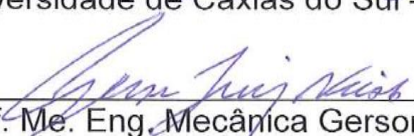
Banca Examinadora



Prof. Me. Eng. Mecânica Juliano Marcon Oliveira
Universidade de Caxias do Sul – UCS



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



Prof. Me. Eng. Mecânica Gerson Luiz Nicola
Universidade de Caxias do Sul – UCS

AGRADECIMENTOS

A Universidade de Caxias do Sul (UCS), e a todos os professores do curso de engenharia mecânica, os quais foram fundamentais para a minha formação acadêmica.

Aos meus familiares, em especial minha mãe Walmi, minha irmã Morgana, e ao meu querido e sempre lembrado irmão Douglas, ao qual dedico este sonho realizado.

A minha namorada Uiara, por tudo que fez nos momentos em que mais precisei de ajuda.

Aos meus grandes amigos, que não irei listar aqui, mas que sabem muito bem quem são.

E a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, me ajudaram para esta conquista.

“Não é o mais forte que sobrevive,
nem o mais inteligente, mas o que
melhor de adapta às mudanças”.

Charles Darwin

RESUMO

O estudo deste projeto teve como foco analisar e melhorar o processo de afiação das brocas helicoidais de aço-rápido, revestidas com nitreto de titânio, no processo de furação dos perfis U, que tem como material o aço LN38. Foram realizados ensaios comparativos submetendo as brocas ao processo atual de afiação da ferramenta, que tem como padrão a afiação do tipo redução do gume transversal e ângulo de ponta $\sigma = 118^\circ$, bem como outros tipos de afiações e ângulos de ponta. Posteriormente, foram avaliados os diferentes tipos de desgastes entre as seis brocas analisadas, as variações dimensionais dos furos por elas processados, bem como o tipo de rebarba gerada e, principalmente, o rendimento, ou seja, a vida útil de cada broca ensaiada. Dentre os resultados obtidos, verificou-se que na questão do desgaste da ferramenta, não se teve uma grande diferença entre as brocas ensaiadas, sendo que a principal limitação para uma possível melhoria no processo, esta relacionada à excessiva vibração do equipamento de furação, a qual não foi medida, porém é nitidamente perceptível. Quanto à variação dimensional, todos os furos processados pelas seis brocas, mantiveram os valores dentro do especificado pela norma DIN 7168. Os dois principais ganhos que foram obtidos neste projeto estão relacionados ao tipo de rebarba gerada e a quantidade de furos processados, sendo que, a rebarba gerada pela broca com ângulo de ponta de 140° , é menor em relação à gerada pela broca com 118° de ângulo de ponta, reduzindo em 168% o tempo para a posterior retirada das rebarbas. Quanto à quantidade de furos processados, alcançou-se um ganho de 247%, visto que a broca com o melhor rendimento conseguiu processar em média 497 furos, contra 143 furos processados pela broca afiada pelo processo atual de afiação. O método de afiação, e o ângulo de ponta que apresentaram este rendimento, foi o da broca B3, a qual foi afiada com o método de afiação cruzada, e mantendo um ângulo de ponta de 140° .

Palavras chave: Usinagem. Broca de aço-rápido. Afiação de Ferramenta. Processo de furação.

Áreas de conhecimento: Engenharia mecânica. Materiais. Processo de fabricação.

ABSTRACT

The study of this project was focused on analyzing and optimizing the sharpening high speed steel drill process in the drilling process of the U profiles, whose material is the steel LN38. Comparative tests were performed by subjecting the drills to the current sharpening tool process, which defaults edging type reduction of the cross angle bit $\sigma = 118$, as well as other types of sharpening the bit angles. Subsequently, we assessed the different types of wear among the six drills analysis, the holes dimensional variations processed by them, as well as the type of burr generated by each drill and mainly the performance, as the life of each drill rehearsed. As a result, it can be seen that the question of tool wear, it had not a big difference between the tested drills, given that the main limitation to a possible improvement in the process, is related to excessive vibration of the drilling rig, which was not measured, but is clearly noticeable. As to the dimensional variation, all holes processed by the six drills kept within the specified values by DIN 7168. The two main gains that were obtained in this project are related to the type of burr and the amount of processed holes, wherein the burr generated by the 140° drill angle bit is smaller than the burr generated by the 118° drill angle bit, reducing by 168% the time for the subsequent burrs removal. As the number of processed holes, it is achieved a 247% gain, since the drill with the best performance can process 497 holes on average, against 143 processed by the present sharpening drill process. The method of sharpening and the angle bit that showed this yield was the B3 drill, which was edged with the method of cross-grinding and keeping 140° angle bit.

Keywords: Machining. High Speed Steel. SharpeningTool. Drilling process.

Knowledge Areas: Mechanical Engineering. Materials. Manufacturing process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produtos Agrale	15
Figura 2 - Movimentos de corte na furação.....	19
Figura 3 - Direções dos movimentos de corte na furação	20
Figura 4 - Partes construtivas de uma broca helicoidal.....	23
Figura 5 - Parte cortante de uma broca helicoidal	23
Figura 6 - Principais ângulos de uma broca helicoidal	24
Figura 7 - Valores de ângulos de pontas	25
Figura 8 - Tipos de ângulos de hélice	25
Figura 9 - Ângulo de incidência de uma broca helicoidal.....	26
Figura 10 - Redução do gume transversal	27
Figura 11 - Afição cruzada	28
Figura 12 - Afição com ângulo de ponta duplo	28
Figura 13 - Ângulo da ponta desigual em relação ao eixo da broca.....	29
Figura 14 - Comprimento das arestas principais de corte diferentes.....	30
Figura 15 - Mecanismos de desgaste das ferramentas de corte.....	35
Figura 16 - Método de furação dos perfis.....	40
Figura 17 - Método de rebarbação dos perfis	41
Figura 18 - Produto montado	41
Figura 19 - Dispositivo para furação dos perfis	42
Figura 20 - Furadeira utilizada no processo de furação.....	44
Figura 21 - Sistema de regulagem da vazão do fluido.....	45
Figura 22 - Afição manual da ferramenta	45
Figura 23 - Rendimento das brocas originais com $\sigma = 118^\circ$	49
Figura 24 - Aquecimento na aresta transversal das brocas originais	50
Figura 25 - Furos processados pelas brocas com a afiação original.....	51
Figura 26 - Rebarba das brocas com o ângulo original de 118°	52
Figura 27 - Rendimento da broca B1: redução do gume transversal e $\sigma = 118$	53
Figura 28 - Desgaste nos gumes principais da broca B1	53
Figura 29 - Desgaste na guia da broca B1	54
Figura 30 - Furos processados pela broca B1	55
Figura 31 - Rebarba da broca B1: redução do gume transversal e $\sigma = 118^\circ$	55
Figura 32 - Máquina de afiação de brocas	56

Figura 33 - Rendimento da broca B2: redução do gume transversal e $\sigma = 140^\circ$	56
Figura 34 - Desgaste de flanco da broca B2.....	57
Figura 35 - Desgaste da guia da broca B2.....	57
Figura 36 - Furos processados pela broca B2.....	58
Figura 37 - Rebarba da broca B2: redução do gume transversal e $\sigma = 140^\circ$	58
Figura 38 - Rendimento da broca B3: afiação cruzada e $\sigma = 140^\circ$	59
Figura 39 - Afiação manual da broca B3	59
Figura 40 - Desgaste de flanco e lascamento da broca B3.....	60
Figura 41 - Desgaste da guia da broca B3.....	61
Figura 42 - Furos processados pela broca B3.....	61
Figura 43 - Rebarba da broca B3: afiação cruzada e $\sigma = 140^\circ$	62
Figura 44 - Rendimento da broca B4: redução do gume transversal e $\sigma = 140^\circ$	62
Figura 45 - Desgaste de flanco da broca B4.....	63
Figura 46 - Furos processados pela broca B4	63
Figura 47 - Rebarba da broca B4: redução do gume transversal com $\sigma = 118^\circ$	64
Figura 48 - Rendimento das brocas B5: afiação cruzada e $\sigma = 140^\circ$	64
Figura 49 - Vb Max e lascamento do gume principal da broca B5.....	65
Figura 50 - Desgaste da guia da broca B5.....	65
Figura 51 - Furos processados pela broca B5.....	66
Figura 52 - Rebarba da broca B5: afiação cruzada e $\sigma = 140^\circ$	66
Figura 53 - Rendimento da broca B6: afiação cruzada e $\sigma = 118^\circ$	67
Figura 54 - Lascamento do gume e da quina da broca B6.....	67
Figura 55 - Desgaste da guia da broca B6.....	68
Figura 56 - Furos processados pela broca B6.....	68
Figura 57 - Rebarba da broca B6: afiação cruzada e $\sigma = 118^\circ$	69
Figura 58 - Desempenho médio das brocas	69
Figura 59 - Quantidade total de furos processados pelas brocas	70
Figura 60 - Quantidade total de material usinado pelas brocas.....	70
Figura 61 - Rebarba da broca com $\sigma = 118^\circ$	71
Figura 62 - Rebarba da broca com $\sigma = 140^\circ$	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de velocidade de corte para HSS	21
Tabela 2 - Tipos de desgastes de brocas	37
Tabela 3 - Composição química do aço LN38.....	43
Tabela 4 - Propriedades mecânicas do aço LN38.....	43
Tabela 5 - Tolerâncias dimensionais do processo de furação	43
Tabela 6 - Ângulos da parte cortante da broca	44
Tabela 7 - Consumo mensal das brocas de aço-rápido	46
Tabela 8 - Identificação das brocas.....	48
Tabela 9 - Variação dimensional dos furos das brocas originais.....	51
Tabela 10 - Variação dimensional dos furos da broca B1	54
Tabela 11 - Variação dimensional dos furos da broca B2	58
Tabela 12 - Variação dimensional dos furos da broca B3	61
Tabela 13 - Variação dimensional dos furos da broca B4	63
Tabela 14 - Variação dimensional dos furos da broca B5	66
Tabela 15 - Variação dimensional dos furos da broca B6	68
Tabela 16 - Medição da altura das rebarbas	72
Tabela 17 - Tempo de retirada das rebarbas	72
Tabela 18 - Variação dimensional dos furos	72
Tabela 19 - Custo dos furos no processo.....	73

LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIO	Óxido de Alumínio
APC	Aresta postiça de corte
CVD	Deposição Química de Vapor
d	Diâmetro da broca
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
f	Avanço
HSS	Aço-rápido
IT-CA	Instrução de Trabalho Caminhões e Chassis Agrale
Kw	Desgaste de cratera
MQL	Mínima Quantidade de Lubrificante
n	Rotação
NBR	Norma Brasileira
PVD	Deposição Física de Vapor
Ra	Rugosidade média
r _ε	Raio de ponta
TiC	Carbeto de Titânio
TiN	Nitreto de Titânio
TiCN	Carbonitreto de Titânio
TiNAI	Nitreto de Titânio Alumínio
V _b	Desgaste de flanco
V _{bmax}	Desgaste de flanco máximo
V _c	Velocidade de corte
V _e	Velocidade efetiva
V _f	Velocidade de avanço
α	Ângulo de incidência
β	Ângulo de cunha
γ	Ângulo de saída
μm	Micrometro
σ	Ângulo da ponta da ferramenta
σ _r	Tensão de cisalhamento
φ	Ângulo do gume transversal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 PROCESSO DE USINAGEM	14
1.2 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	15
1.3 JUSTIFICATIVA DO ESTÁGIO	16
1.4 OBJETIVOS	17
1.4.1 Objetivo Geral.....	17
1.4.2 Objetivos Específicos	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 USINAGEM	18
2.2 PROCESSO DE FURAÇÃO	19
2.3 PARÂMETROS DA MECÂNICA DO CORTE	19
2.3.1 Velocidade de Corte.....	20
2.3.2 Velocidade de Avanço	22
2.4 TIPOS DE BROCAS	22
2.4.1 Brocas Helicoidais	22
2.4.2 Ângulos de Construção da Broca Helicoidal.....	24
2.5 AFIAÇÃO DA PONTA DA BROCA.....	26
2.5.1 Métodos de Afiação de Brocas	27
2.5.1.1 Redução do gume transversal de corte.....	27
2.5.1.2 Afiação cruzada.....	28
2.5.1.3 Afiação com ângulo de ponta duplo	28
2.5.2 Erros Geométricos de Afiação da Ferramenta	29
2.6 MATERIAIS PARA FERRAMENTA DE CORTE	30
2.6.1 Aço-Rápido	31
2.6.2 Metal Duro.....	32
2.7 REVESTIMENTOS PARA FERRAMENTA DE CORTE.....	32
2.8 USINABILIDADE DOS AÇOS	33
2.9 MECANISMOS DE DESGASTE	35
2.10 QUALIDADE SUPERFICIAL	38
2.11 FLUÍDO LUBRIRREFRIGERANTE	38

3 PROCEDIMENTO	40
3.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO ATUAL.....	40
3.2 CARACTERISTICAS DO PROCESSO ATUAL	42
3.3 DETALHAMENTO DA PROPOSTA.....	46
3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1 BROCA COM AFIAÇÃO ORIGINAL	49
4.2 BROCA B1 - REDUÇÃO DO GUME TRANSVERSAL COM $\sigma = 118^\circ$	52
4.3 BROCA B2 - REDUÇÃO DO GUME TRANSVERSAL COM $\sigma = 140^\circ$	55
4.4 BROCA B3 - AFIAÇÃO CRUZADA COM $\sigma = 140^\circ$	58
4.5 BROCA B4 - REDUÇÃO DO GUME TRANSVERSAL COM $\sigma = 118^\circ$	62
4.6 BROCA B5 - AFIAÇÃO CRUZADA COM $\sigma = 140^\circ$	64
4.7 BROCA B6 - AFIAÇÃO CRUZADA COM $\sigma = 118^\circ$	66
4.8 ANÁLISE COMPARATIVA DAS BROCAS.....	69
4.9 ANÁLISE DE CUSTOS	73
5 CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXO 01 – MODELO DE UMA LONGARINA	78
ANEXO 02 – FLUÍDO LUBRIRREFRIGERANTE	79
ANEXO 03 – INSTRUÇÃO DE TRABALHO IT-CA-331	80
ANEXO 04 – INSTRUÇÃO DE TRABALHO IT-CA-331 ALTERADA	81

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROCESSO DE USINAGEM

A usinagem pode ser definida como a operação que ao conferir à peça forma, dimensões e acabamento, produz cavaco, e por cavaco entende-se que é a porção de material da peça retirada pela ferramenta e caracterizada por apresentar forma geométrica irregular (MACHADO, *et al.* 2011).

Os processos de usinagem que se destacam na indústria são: torneamento, fresamento, furação, alargamento, rosqueamento, mandrilamento, brochamento, retífica e brunimento. Dentre estes processos relacionados, o processo de furação se destaca por ser um dos mais utilizados na indústria automotiva, e atualmente cerca de 50% dos furos são processados com brocas helicoidais (CAVALCANTE, 2010).

Com o desenvolvimento de novas ferramentas construídas com novos materiais, novas afiações e novos conceitos de construção geométrica, o processo de furação pode melhorar os níveis de qualidade e conseqüentemente reduzir o número de operações, o que influencia diretamente no tempo de processo e no custo de fabricação (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2003).

Visto isso, e constantemente visando melhorar seus processos de fabricação, indústrias fazem estudos de viabilidade técnica e econômica, a fim de melhorar seus processos em termos de qualidade, produtividade e redução de custos. E no que tange ao ramo da usinagem, estes estudos se fazem cada vez mais necessários, pois esta é uma área de atuação onde se tem muito a avançar na nossa região, visto que Caxias do Sul é um dos principais polos metal mecânico do país.

Neste projeto foram realizadas análises do processo atual da afiação das brocas de aço-rápido revestidas com TiN, que são utilizadas na furação dos perfis “U” e, conseqüentemente, apresentada a proposta de melhoramento desse processo.

A primeira etapa do projeto foi dividida em três fases: na primeira fase, uma breve apresentação da empresa onde o estágio foi realizado. A segunda fase contempla uma revisão teórica dos conceitos de usinagem e estudos já realizados para melhoramentos no processo de furação. E na terceira fase, a proposta deste projeto, relacionando as características atuais do processo, e os métodos de como os testes foram realizados, bem como quais os aspectos foram avaliados na comparação entre o processo atual e o proposto neste estudo.

1.2 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A Agrale S/A foi fundada em 14/12/1962, é a maior do grupo Francisco Stédile. Atualmente possui um quadro de aproximadamente 2000 funcionários divididos em três unidades em Caxias do Sul. A Unidade 01, que fabrica os componentes dos veículos e possui a montagem dos tratores, a Unidade 03, que produz toda a parte de fibras e plásticos da empresa, e a Unidade 02, na qual será desenvolvido o estágio. É a Unidade montadora de veículos, na qual são montados os chassis para ônibus, caminhões e os utilitários Marruá 4x4. Nesta unidade encontra-se também o centro de exportação de peças em CKD e o centro de formação profissional Francisco Stédile.

A empresa possui ainda uma unidade de negócios na Argentina, onde a mesma é responsável pela montagem de chassis para ônibus, caminhões e, recentemente começou a realizar a montagem dos tratores que são comercializados naquele mercado.

A Agrale tem em sua linha de produtos os tratores agrícolas, chassis para ônibus, caminhões e utilitários 4x4, para uso civil e militar, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Produtos Agrale



Fonte: www.agrale.com.br (2014)

Dentre os diversos clientes da Agrale, se destacam como sendo os principais: Marcopolo, que em parceria com a Agrale fabrica o microônibus da Marca Volare, o Exército Brasileiro através do Agrale Marruá, e alguns outros ramos do mercado como empresas de mineração, saneamento e energia.

1.3 JUSTIFICATIVA DO ESTÁGIO

A indústria metal-mecânica está sempre em busca de novas tecnologias e métodos para reduzir o custo final de produção, seja por meio da otimização dos processos, seja pela utilização de ferramentas com novas geometrias, revestimentos, máquinas mais modernas ou variação nos parâmetros de corte. O objetivo é sempre obter alta produtividade, um fator determinante para adquirir competitividade. (MOURA, MACHADO, 2014).

Dentro da usinagem convencional, o processo de furação se destaca por ser um dos processos mais utilizados na indústria automotiva, e é de suma importância que se conheçam todas as variáveis envolvidas para se ter o melhor aproveitamento possível do processo.

Atualmente, a variedade de produtos que a Agrale produz é consideravelmente alta, bem como a quantidade de perfis que são usinados e variações de furações (diâmetro e posição) que são executados. Por consequência disto, são gerados custos com as brocas utilizadas, tanto na aquisição, quanto na manutenção das mesmas.

O processo de furação é realizado através de furadeiras de bancada manuais, utilizando como ferramenta de corte brocas helicoidais de aço-rápido (HSS), revestidas com nitreto de titânio (TiN).

O processo de afiação das ferramentas é realizado de forma manual, sendo que a mesma é realizada quando o operador percebe um aumento na força de avanço para realizar o corte.

Para este processo de afiação, está definido atualmente o tipo de afiação com redução do gume transversal, mantendo um ângulo de ponta de 118°. Porém, pelo fato de que a afiação é realizada de forma manual, e sem o auxílio de um equipamento para verificar o ângulo da ponta após a afiação, o rendimento das brocas acaba variando de acordo com operador.

Visando isso, é que neste projeto foi realizado um estudo para a otimização do processo de afiação da ferramenta de corte, analisando novos tipos de afiações, bem como diferentes geometrias das brocas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Este projeto tem como objetivo melhorar o método de afiação das brocas de aço-rápido revestidas com Nitreto de Titânio no processo de furação dos perfis U, avaliando novos tipos de afiações e novos ângulos de ponta das brocas.

1.4.2 Objetivos Específicos

Para realizar este estudo, foram utilizados e coletados alguns dados a fim de comparar os processos de afiações propostos, tais como:

- a) analisar as características do processo atual;
- b) comparar a variação dimensional dos furos nos processos propostos;
- c) comparar a quantidade de material usinado nos processos propostos;
- d) comparar os desgastes das brocas nos processos propostos;
- e) comparar a vida útil das brocas nos processos propostos; e
- f) realizar a análise de custo dos processos avaliados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, será realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema de estágio proposto. Serão relacionadas as grandezas de usinagem como tipos de furação, velocidade de corte, materiais de ferramentas utilizados, tipos de revestimentos aplicados em brocas, fluídos lubrificantes utilizados, principais causas dos desgastes de ferramentas, critérios utilizados para determinação do fim da vida, métodos de afiação da ferramenta, o qual é o foco deste projeto, entre outros.

2.1 USINAGEM

Pode-se definir o termo usinagem como sendo uma operação que ao conferir à peça forma, dimensões e acabamento, produz cavaco. E por cavaco entende-se que é a porção de material da peça retirada pela ferramenta de corte e caracterizada por apresentar geometria irregular (MACHADO, *et al* 2011).

A usinagem é, reconhecidamente, o processo de fabricação mais popular do mundo, transformando em cavaco algo em torno de 10% de toda a produção de metais e empregando dezenas de milhões de pessoas (TRENT, 2000).

De acordo com Black (1995), a usinagem é um processo imprevisível, e esta imprevisibilidade da usinagem está associada ao fato de ser o único processo de deformação plástica cuja única restrição é a ferramenta de corte. A variedade de opções para os parâmetros de entrada do processo resulta em infinitas combinações, e há apenas três maneiras de lidar com tal complexibilidade:

- a) por meio da experiência adquirida por sucessivas tentativas e erros ao longo dos anos;
- b) por meio da experimentação, que é onerosa, demorada, e restrita a uma determinada situação; e
- c) por meio de modelos teóricos.

Em geral, nenhuma dessas abordagens é capaz de, sozinha, encontrar soluções satisfatórias, sendo recomendada a combinação de duas delas, ou, em muitos casos, as três combinações (MACHADO, *et al* 2011).

2.2 PROCESSO DE FURAÇÃO

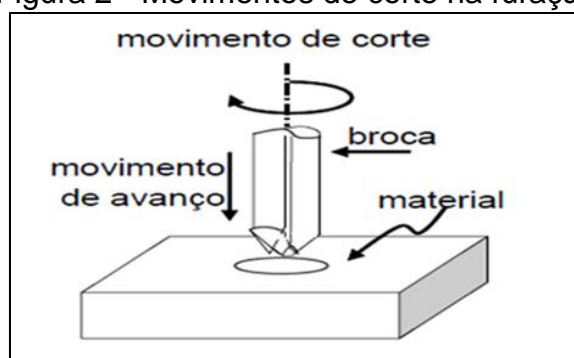
Conforme a norma alemã DIN 8589, é definida como um processo de usinagem com movimento de corte circular, ou seja, com movimento rotativo principal. A ferramenta possui movimento de avanço apenas na direção do seu eixo de rotação, que mantém sua posição em relação à ferramenta e à peça (KÖNIG e KLOCKE, 1997).

A furação com brocas é uma operação de desbaste. Nesta operação, devem-se levar em conta alguns fatores, tais como o diâmetro e a profundidade do furo usinado, as tolerâncias de forma e medidas, e os volumes de produção (STEMMER, 2005).

O processo de furação é um dos processos de usinagem mais utilizados na indústria, utilizado para a obtenção de furos cilíndricos ou cônicos. É realizado por uma ferramenta denominada broca, podendo esta ser helicoidal, chata, canhão, de canal reto, dentre outras.

Uma grande maioria destas furações são realizadas através de brocas helicoidais de aço-rápido (HSS), devendo esse processo garantir uma determinada qualidade superficial e tolerância dimensional, para evitar problemas que impactem na produtividade e qualidade final dos produtos. A Figura 2 mostra algumas variáveis do processo de furação.

Figura 2 - Movimentos de corte na furação



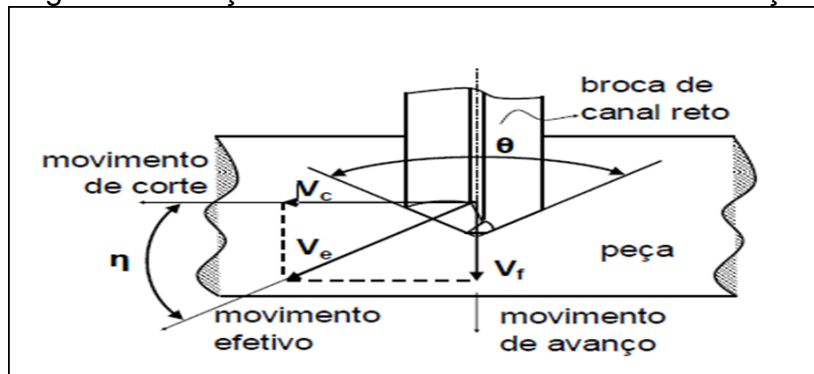
Fonte: Stemmer (2005)

2.3 PARÂMETROS DA MECÂNICA DO CORTE

Para se ter um melhor aproveitamento do processo de furação, os parâmetros de corte devem ser bem avaliados e definidos. Tais parâmetros estão

relacionados com alguns fatores que serão em seguida melhor detalhados, como, por exemplo, material a ser usinado e condições do processo. A Figura 3 mostra também os principais movimentos relacionados com a mecânica do corte do processo de furação.

Figura 3 - Direções dos movimentos de corte na furação



Fonte: Stemmer (1995)

Onde:

V_c : velocidade de corte, [m/min];

V_e : velocidade efetiva, [m/min];

V_f : velocidade de avanço, [m/min];

θ : ângulo da ponta da ferramenta, [°]; e

η : ângulo da direção efetiva, [°].

Dentre estes elementos, serão abordados em seguida os parâmetros de velocidade de corte e velocidade de avanço.

2.3.1 Velocidade de Corte

A velocidade de corte (V_c) é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e o sentido de corte, e é calculada de acordo com a fórmula da equação 01 (MACHADO, *et al.* 2011).

A velocidade de corte tem grande influência sobre o desgaste e, conseqüentemente, sobre a vida da ferramenta. Para as condições mais difíceis de usinagem, as velocidades de corte recomendadas para as brocas são

aproximadamente a metade das recomendadas para operações de torneamento de desbaste, por exemplo.

Para brocas de aço-rápido (HSS) são indicadas velocidades de corte menores em relação às brocas de metal duro, por exemplo, onde se aconselha a utilização de velocidade de cortes maiores para um melhor aproveitamento da broca.

Alguns fatores como material da ferramenta, material a ser usinado, espessura do material, condições de refrigeração, condições da máquina, ajudam na determinação da velocidade de corte ideal.

Uma das observações importantes vista no processo de furação, é o fato da velocidade de corte apresentar valor máximo na periferia da broca, e chegando a zero no centro da mesma, o que permite dizer que o material não é usinado no centro do furo, mas, sim conformado (CAVALCANTE, 2010).

$$V_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad (01)$$

Onde:

V_c : velocidade de corte, [m/min];

d : diâmetro da broca, [mm]; e

n : rotação [rpm].

Como se pode notar na equação, os valores de velocidades de corte estão relacionados com a rotação do equipamento e o diâmetro da broca. Os valores de velocidade de corte são fornecidos pelos fabricantes das ferramentas de corte. A Tabela 1 mostra alguns valores de velocidade de corte recomendadas para brocas de aço-rápido (FÁVARO, 2004).

Tabela 1 - Parâmetros de velocidade de corte para HSS

Material	Velocidade de corte (m/min)
Aço, $\sigma < 450\text{N/mm}^2$	30 a 40
Aço, $\sigma < 700\text{N/mm}^2$	25 a 35
Aço, $\sigma < 900\text{N/mm}^2$	20 a 30
Aço liga com σ entre 700 e 900N/mm ²	12 a 20

Fonte: Fávaro (2004)

2.3.2 Velocidade de Avanço

Avanço (f) é o percurso de avanço em cada volta, ou em cada curso da ferramenta. É a velocidade instantânea da ferramenta segundo a direção e sentido de avanço (FERRARESI, 1995). A velocidade de avanço é calculada segundo a equação 02.

$$V_f = f \cdot n \quad (02)$$

Onde:

V_f : velocidade de avanço, [mm/min];

f : avanço, [mm/rev]; e

n : rotação [rpm].

2.4 TIPOS DE BROCAS

Para a abertura de furos, empregam-se ferramentas denominadas brocas, onde estas podem ser de diversos tipos, tais como: brocas chatas, brocas helicoidais, brocas canhão, (para furos profundos), brocas ocas para trepanação, etc. (STEMMER, 2005).

Dentre estas, a broca mais utilizada na indústria, ainda é a broca helicoidal, a qual será melhor detalhada a seguir.

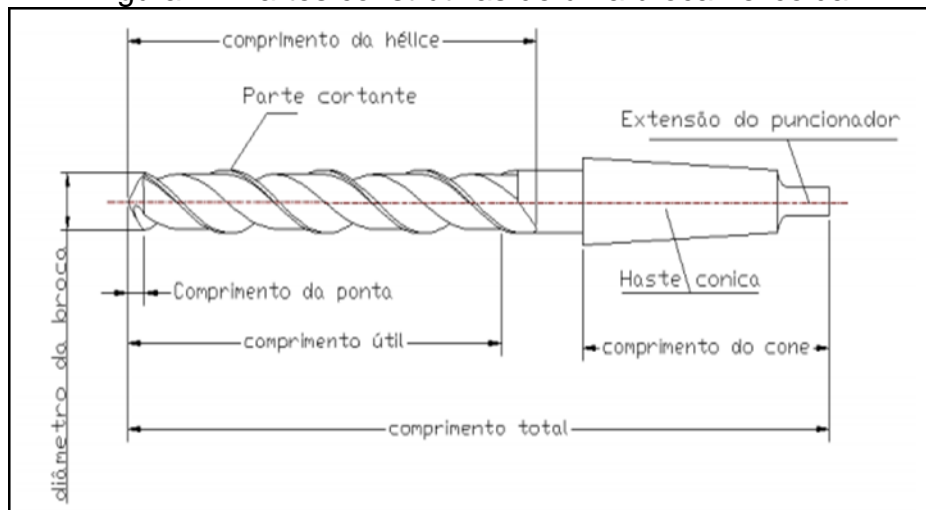
2.4.1 Brocas Helicoidais

As brocas helicoidais são as ferramentas mais utilizadas na execução de furos. Sua forma construtiva é composta de uma haste cilíndrica, e uma parte cortante, que pode ser afiada de formas variadas conforme o material a ser usinado.

As brocas são identificadas de acordo com o tipo de material da ferramenta, a forma da haste, o número de canais, o sentido de corte, o comprimento, o diâmetro e o tipo de afiação (STEMMER, 2005).

A Figura 4 representa uma visão geral de uma broca helicoidal.

Figura 4 - Partes construtivas de uma broca helicoidal



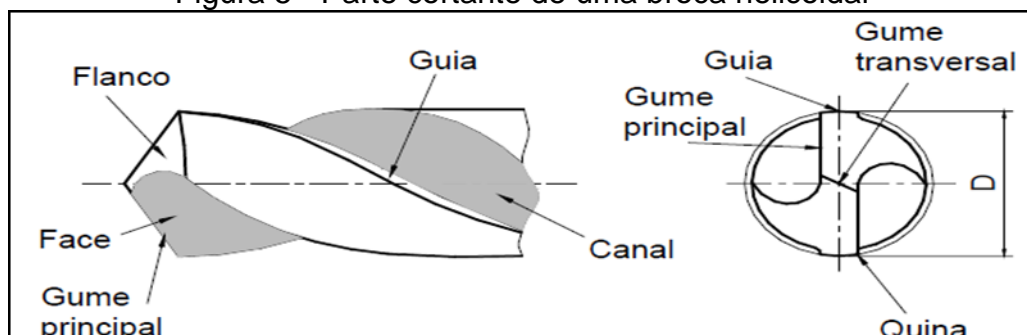
Fonte: Stemmer (2005)

Os principais elementos construtivos de uma broca helicoidal são:

- canais helicoidais: destinados à remoção de cavacos no momento da furação;
- gume principal: composto pelos gumes transversal e cortante da ferramenta;
- guias: proporcionam apoio lateral à broca e alisamento da superfície do furo;
- quina de corte: transição do gume principal para a guia. É na quinta de corte que ocorre as maiores velocidades de corte, bem como as maiores solicitações térmicas e mecânicas; e
- dimensões da broca: são classificadas pelo seu diâmetro externo, que deve se enquadrar dentro da tolerância h8. Quanto ao comprimento, distingue-se o comprimento total, da hélice e o da haste.

A Figura 5 mostra a parte cortante de uma broca helicoidal.

Figura 5 - Parte cortante de uma broca helicoidal



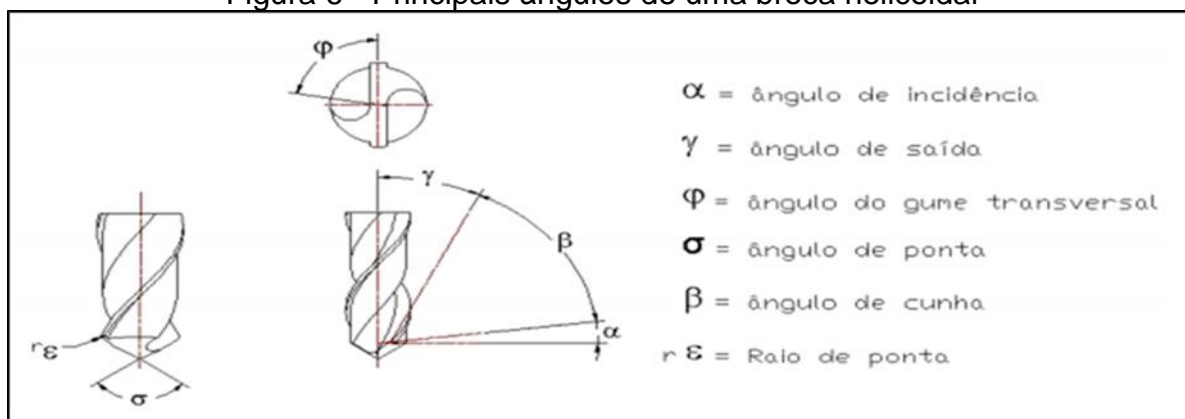
Fonte: Stemmer (1995)

2.4.2 Ângulos de Construção da Broca Helicoidal

A broca helicoidal tem seu desempenho afetado por sua geometria. A Figura 6 mostra os principais ângulos de uma broca helicoidal.

O ângulo da ponta (σ) é formado pelos dois gumes principais, no plano que contém o eixo principal da broca. Um grande ângulo de ponta permite, normalmente, o aumento do avanço. Isto possibilita uma substancial redução no tempo de usinagem. Com o aumento do ângulo de ponta, a centragem da ferramenta e o momento torsor tendem a diminuir (STEMMER, 2005).

Figura 6 - Principais ângulos de uma broca helicoidal



Fonte: Stemmer (2005)

De acordo com Stemmer (2005), o ângulo de ponta (σ) tem as seguintes funções:

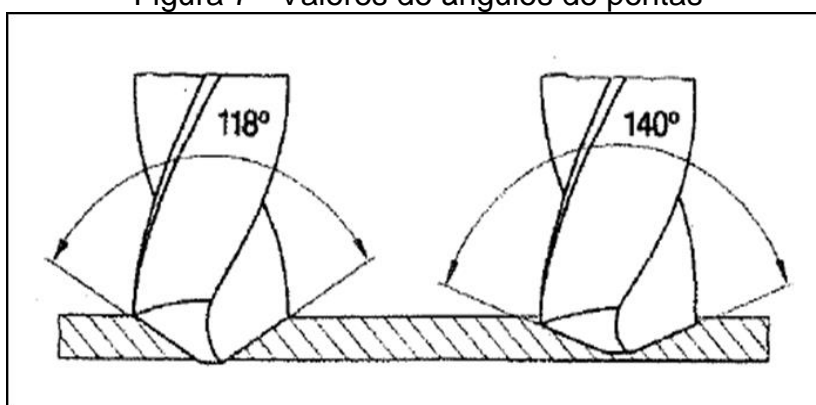
- altera a espessura do cavaco e aumenta o comprimento atuante da aresta. Com o aumento do ângulo de ponta para o mesmo avanço, a espessura do cavaco diminui;
- o aumento do ângulo de ponta, aumenta-se também a resistência mecânica e a dissipação de calor;
- é responsável pelas forças passivas que ajudam a eliminar eventuais vibrações; e
- tem influência na direção de saída do cavaco.

O valor do ângulo de ponta depende do tipo de material a ser usinado, da geometria da peça e da saída do cavaco. Um ângulo de ponta grande leva facilmente a desvios da broca, o que aumenta o diâmetro do furo executado. Um ângulo de ponta pequeno leva a uma boa centragem, garantindo a precisão dimensional dos

furos, no entanto, aumenta consideravelmente o atrito da broca sobre a parede do furo (KÖNIG, 1990).

Para reduzir a rebarba, aconselha-se um ângulo de ponta mais obtuso, a fim de permitir que as arestas de corte no diâmetro total da broca comecem a cortar antes que a ponta da broca tenha atravessado o material, conforme mostra a Figura 7 (SKF, 1987).

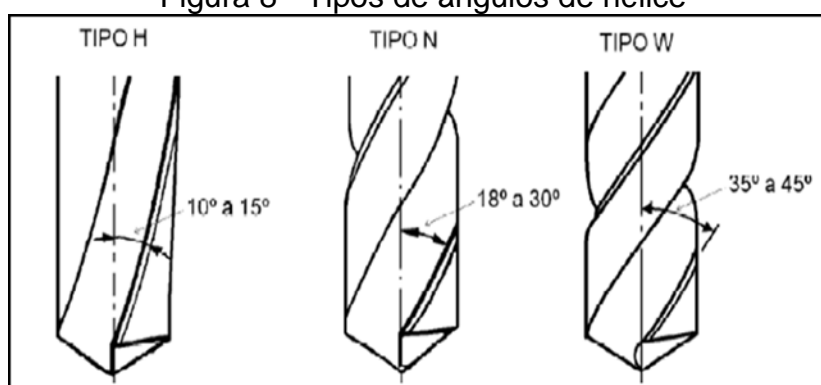
Figura 7 - Valores de ângulos de pontas



Fonte: SKF (1987)

O ângulo de saída (γ), ou ângulo de hélice como é também chamado, é o ângulo da helicóide dos canais da broca. A Figura 8 representa os tipos de ângulos de hélice usuais para brocas helicoidais.

Figura 8 - Tipos de ângulos de hélice



Fonte: Stemmer (2005)

Estes três tipos de ângulos classificam-se quanto a (STEMMER, 2005):

- tipo N: possui ângulo de hélice variando de 18 a 30° e é utilizado para aços ligados e não-ligados, ferro fundido cinzento e maleável e ligas de alumínio de cavacos curtos;

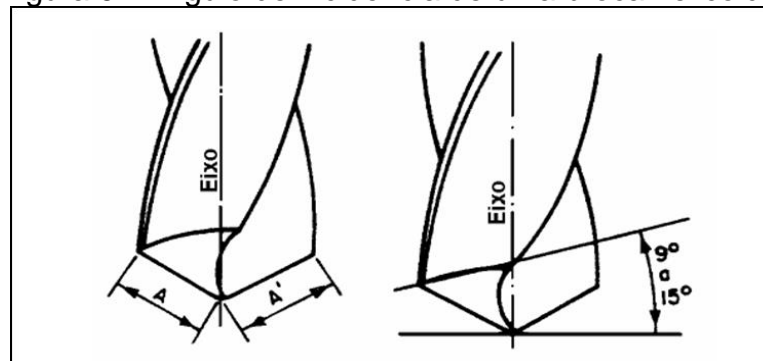
- b) tipo H: possui ângulo de hélice entre 10 a 15° e é utilizado para materiais duros e frágeis, como ferro fundido com dureza superior a 240HB; e
- c) tipo W: para materiais moles com cavacos longos. Seu ângulo de hélice está entre 35 a 45°.

Outro ângulo importante é o ângulo de incidência ou de folga (α), onde o mesmo tem função de diminuir a fricção entre o flanco principal e a peça, reduzindo o calor e, conseqüentemente, o desgaste. A seleção de um ângulo de incidência depende basicamente das propriedades do material usinado e das condições de corte (STEMMER, 2005).

Se o ângulo de incidência é muito pequeno, o gume pode não penetrar de forma conveniente na peça, e com isso aumenta o desgaste da ferramenta devido ao forte atrito e superaquecimento da ferramenta. Se o ângulo for muito grande, o gume pode sofrer avarias como quebra ou lascamento em virtude do apoio deficiente (CASTILLO, 2005).

A Figura 9 mostra o ângulo de incidência de uma broca helicoidal.

Figura 9 - Ângulo de incidência de uma broca helicoidal



Fonte: Stemmer (2005)

2.5 AFIAÇÃO DA PONTA DA BROCA

A afiação da ponta da broca é um dos fatores responsáveis pela qualidade dos furos, e uma geometria adequada de afiação reduz os esforços de corte no processo de furação. É um processo realizado através de ferramentas abrasivas para a construção e manutenção dos gumes de corte das brocas (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2006).

Alguns critérios são adotados para se determinar o ponto da reafiação da ferramenta, os critérios mais usuais são (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2006):

- a) aumento da força de avanço para a realização do corte;
- b) desgaste da ferramenta; e
- c) variação dimensional dos furos.

A reafiação correta e, no momento oportuno, é um fator essencial no desempenho e vida útil da ferramenta. Para uma correta afiação se exige que:

- a) os dois gumes da broca tenham exatamente o mesmo comprimento;
- b) os dois gumes estejam no mesmo ângulo em relação ao eixo da broca; e
- c) o ângulo de incidência, nos dois gumes seja igual e corresponda à usinabilidade do material.

2.5.1 Métodos de Afiação de Brocas

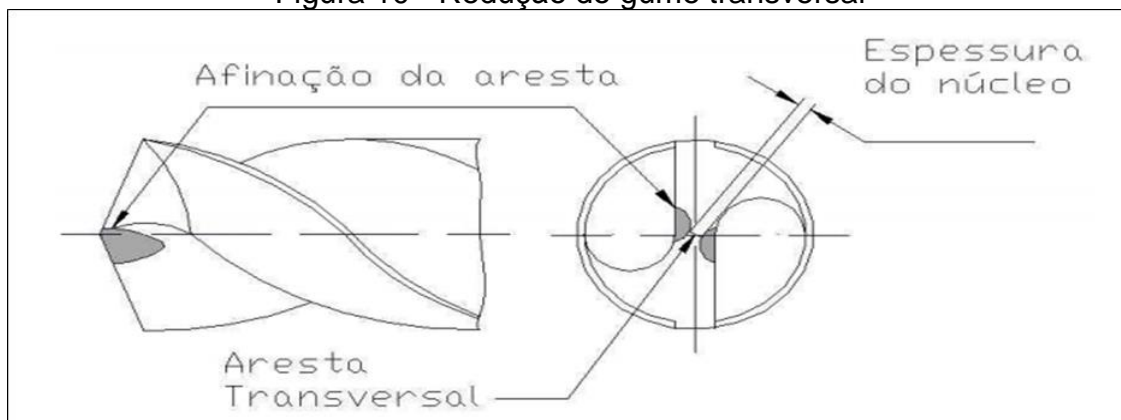
O tipo de afiação mais conhecido e aplicado é a afiação cônica, sendo que seu princípio consiste em posicionar a ponta da broca em frente ao rebolo observando a formação da ponta de ponta. Este tipo de afiação apresenta como vantagem a facilidade de fabricação e o seu bom comportamento na furação da maioria dos materiais usinados (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2006).

A seguir serão relacionados outros métodos de afiação de brocas helicoidais.

2.5.1.1 Redução do gume transversal de corte

Este método de afiação, conforme indicado na Figura 10, tem como objetivo reduzir a força de avanço da ferramenta, através da redução da espessura do núcleo e, por consequência, a redução da aresta transversal de corte (FERRARESI, 2006).

Figura 10 - Redução do gume transversal

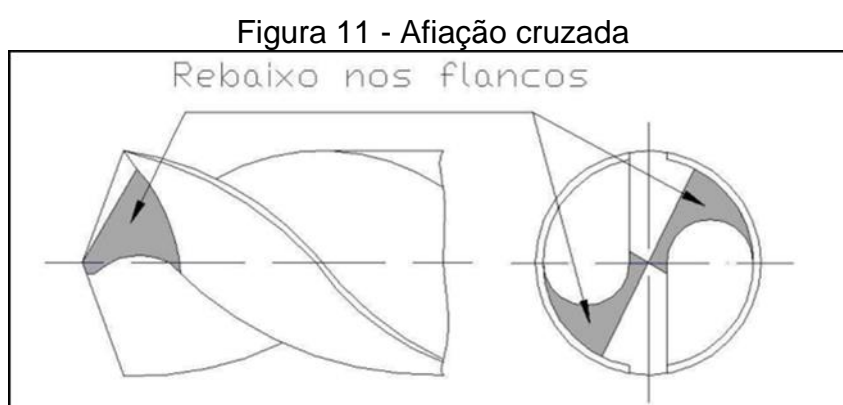


Fonte: Stemmer (2005)

2.5.1.2 Afição cruzada

Neste processo, os flancos da broca sofrem um rebaixo, onde apresentam-se como uma segunda superfície de incidência, reduzindo ou até mesmo eliminando a aresta transversal, conforme pode ser observado na Figura 11.

A força de avanço é significativamente reduzida, e a remoção parcial ou completa da aresta transversal tem como efeito a melhor centralização da broca na furação (STEMMER, 2005).

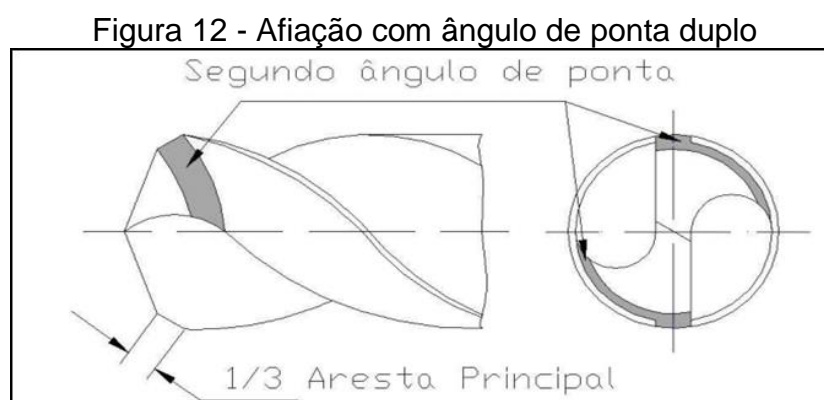


Fonte: Stemmer (2005)

2.5.1.3 Afição com ângulo de ponta duplo

Neste processo, além do ângulo de ponta principal, é afiado um segundo ângulo de ponta com 90° na parte exterior da aresta principal, conforme Figura 12.

O objetivo desta afiação é de aumentar o comprimento da aresta principal de corte e reforçar as pontas da broca, região em que as velocidades de corte são maiores (STEMMER, 2005).



Fonte: Stemmer (2005)

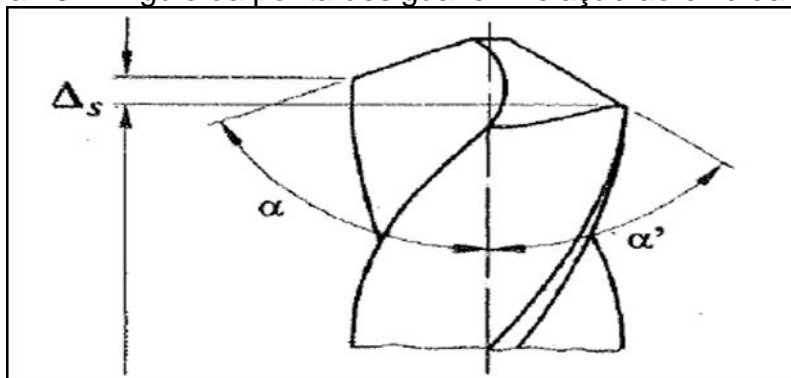
2.5.2 Erros Geométricos de Afição da Ferramenta

Em casos onde a afiação da ferramenta é realizada de forma manual, alguns erros característicos podem ser percebidos no processo de furação. Estes erros prejudicam o rendimento das brocas, causando um desgaste prematuro e, às vezes, até a quebra da ferramenta.

Os erros geométricos mais comuns causados por uma afiação inadequada das brocas helicoidais são (STEMMER, 2005):

- a) ângulo da ponta desigual em relação ao eixo da broca: neste erro o ângulo da ponta apresenta um de seus ângulos complementares (α) diferente do outro (α'). Quando isso ocorre, a aresta principal de corte fica com comprimento menor e, conseqüentemente, com ângulo maior (α), faz a maior parte do trabalho, forçando a broca para o lado oposto da furação, com isto se tem uma distância " Δ_s " maior do que o indicado pela norma DIN 1414. A Figura 13 ilustra o ângulo da ponta desigual em relação ao eixo da broca.

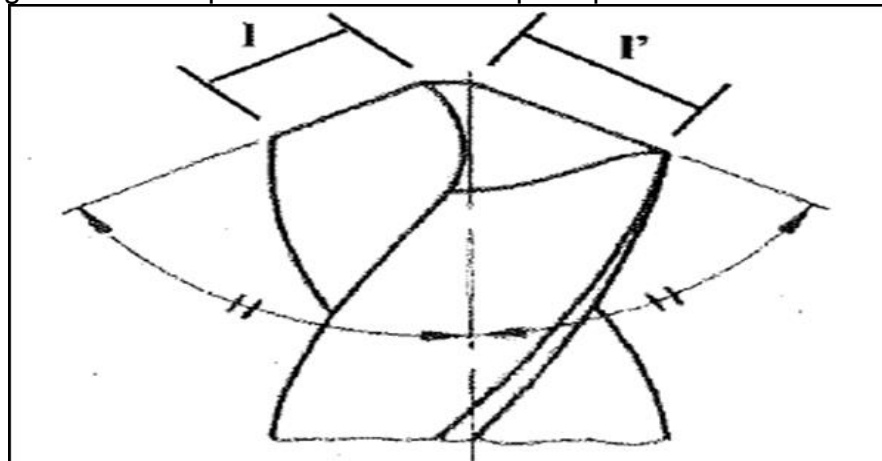
Figura 13 - Ângulo da ponta desigual em relação ao eixo da broca



Fonte: SKF (1987)

- b) comprimentos das arestas principais de corte diferentes: nestas condições, a broca apresenta a aresta transversal excêntrica em relação ao eixo da broca, ocasionando assim furos com o diâmetro maior do que o especificado. Além disto, tanto a broca quanto a máquina ficam submetidos a esforços excessivos, causando desgaste prematuro na aresta principal de corte (I). A Figura 14 mostra o comprimento das arestas principais de corte diferentes.

Figura 14 - Comprimento das arestas principais de corte diferentes



Fonte: Manual SKF (1987)

2.6 MATERIAIS PARA FERRAMENTA DE CORTE

Ao longo dos anos, vem-se buscando melhorias e descobrindo novos materiais para as ferramentas de corte. Atualmente, os materiais disponíveis vão desde o aço-rápido (HSS) até o diamante, sendo o aço-rápido o material mais comercializado devido a sua boa tenacidade, facilidade na usinagem e baixo custo.

Porém, para a correta seleção da ferramenta de corte, deve-se avaliar sempre a relação custo x benefício da ferramenta em relação às condições de usinagem e exigências daquele processo. Alguns fatores que devem ser avaliados no momento da escolha da ferramenta de corte são (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2003):

- a) material a ser usinado: composição química do material a ser usinado, que cavaco produz, e a que tipo de desgaste tal material acarreta sobre a ferramenta de corte;
- b) processo de usinagem: diferentes processos de usinagem possuem diferentes restrições para a operação (velocidade, dimensões) e acarretam maior desgaste da ferramenta de corte devido a choques térmicos ou mecânicos, assim como, também, a fadiga do material da ferramenta;
- c) condições da máquina operatriz: aspectos tais como conservação do equipamento, potência máxima de rotação, rigidez e folgas na instalação;
- d) custo dos materiais: apesar de existirem materiais de ferramentas de corte superiores em relação à produtividade e vida útil, a aquisição de tal material deve estar aliado a uma análise de custo x benefício;

- e) condições da usinagem: diferentes parâmetros de usinagem requerem diferentes materiais adaptados; e
- f) condições de operação: condições de operação quanto à condições de rigidez do sistema influenciam no material da ferramenta.

Dentro das características que se buscam em um material para ferramenta de corte, podemos relacionar (STEMMER, 2007):

- a) elevada dureza a frio bem superior à da peça usinada;
- b) elevada dureza a quente;
- c) tenacidade para resistir a consideráveis esforços de corte e impactos;
- d) resistência à abrasão;
- e) estabilidade química; e
- f) facilidade de obtenção a preços econômicos.

A seguir, serão relacionadas algumas características dos materiais que possuem grande uso nos processos de usinagem: o aço-rápido (HSS) e o metal duro.

2.6.1 Aço-Rápido

O aço-rápido é um aço ferramenta de alta liga de tungstênio, molibdênio, cromo, vanádio, cobalto e nióbio. É um material tenaz, de elevada resistência ao desgaste, elevada dureza a quente, podendo ser utilizado até temperaturas de corte da ordem de 600°C, possui alta dureza em temperatura ambiente, é indicado para operações de baixa e média velocidade de corte. Sua estrutura metalográfica no estado temperado é martensítica básica com carbonetos encrustados (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2013).

Atualmente, devido as suas boas características e ao seu baixo custo de aquisição, é o material para a fabricação de brocas helicoidais mais utilizado pelas indústrias. Em princípio, há duas categorias de aços rápidos: a categoria “T”, que compreende os grupos com predominância de tungstênio, e a categoria “M”, que compreende os grupos com predominância de molibdênio (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2003).

2.6.2 Metal Duro

O metal duro possui uma combinação de resistência ao desgaste, resistência mecânica e tenacidade em altos níveis. Fabricados pela metalurgia do pó, utilizam partículas duras de carbonetos de metais refratários finamente divididos, sinterizados com um ou mais elemento do grupo do ferro (ferro, níquel ou cobalto), formando assim um corpo de alta dureza e resistência à compressão (SANTOS, SALES, 2007).

Suas vantagens incluem uma maior vida útil e possibilidades de velocidades de corte mais altas do que as brocas de aço-rápido, além de possibilidades de trabalho com temperaturas em torno de 1000°C (STEMMER, 2007).

O metal duro é recomendado para sistemas onde a máquina ferramenta opere com extrema rigidez e potência disponível, sendo ideal para trabalho com altas velocidades de corte. Preferencialmente deve ser aplicado em usinagem a seco para evitar choque térmico (STEMMER, 2007).

2.7 REVESTIMENTOS PARA FERRAMENTA DE CORTE

A deposição de revestimentos é um procedimento adotado para alterar as propriedades de uma superfície. Existem dois processos para a aplicação de um determinado revestimento: o processo de deposição química de vapor (CVD) e o processo de deposição física de vapor (PVD), os quais serão listados a seguir (SANTOS, SALES, 2007):

- a) Deposição Química de Vapor (CVD): o processo de deposição química de vapor é realizado em temperaturas que variam entre 900 e 1000°C, e pressões bem abaixo da atmosférica. Esta temperatura torna impróprio o revestimento de materiais que perdem suas características mecânicas a essa temperatura, como por exemplo, o aço rápido.
- b) Deposição Física de Vapor (PVD): o processo de deposição física de vapor transcorre sob vácuo, e a atmosfera gerada à base de átomos metálicos e de gases reativos. O revestimento é efetuado a uma temperatura ao redor de 500°C. Como as ferramentas de corte para usinagem são confeccionadas com materiais cortantes que suportam essa temperatura, não há risco de alteração dimensional e nem de queda de

dureza, além do que o processo PVD não irá comprometer o tratamento térmico desse material.

Em geral, as principais vantagens da aplicação de revestimentos nas ferramentas de corte são a redução de atrito entre a broca e o material usinado, menor tendência à adesão do material da peça, resultando em menor transferência do material da superfície da ferramenta e aumento da dureza superficial e, portanto, como consequência, um menor desgaste (STEMMER, 2005).

Outro ponto relevante na aplicação de brocas revestidas com TiN é a qualidade obtida do furo. Nos ensaios realizados por Rauscher (1990), constatou-se que após o 50º furo usinado por uma broca não revestida, a rugosidade do furo era $Ra = 10 \mu m$, enquanto uma broca revestida obteve $Ra = 4 \mu m$. Esta mesma broca conseguiu uma rugosidade superficial do 300º furo de $Ra = 6 \mu m$.

Dentre os tipos de revestimentos existentes, atualmente, podemos relacionar o carboneto de titânio (TiC), nitreto de titânio (TiN), carbonitreto de titânio (TiCN), nitreto de titânio alumínio (TiAlN) e óxido de alumínio (AlO). Dentre estes, o nitreto de titânio foi a primeira camada disponível comercialmente e, por muitos anos a única, sendo, atualmente, o tipo de revestimento mais aplicado em brocas.

2.8 USINABILIDADE DOS AÇOS

O significado do termo usinabilidade é associado à facilidade ou à dificuldade de usinar um determinado material. Assim, pode-se afirmar que um material possui melhor usinabilidade do que um outro se demonstrar maior facilidade de ser usinado (SANTOS, SALES, 2007).

A usinabilidade dos aços é um assunto difícil de ser tratado de forma generalizada, devido a enorme variedade de materiais de fácil e difícil usinagem. Os aços são divididos então em dois grandes grupos, os aços-liga e os comuns ao carbono, sendo que os do segundo grupo são classificados em:

- a) baixo carbono: $< 0,3\%$ de C;
- b) médio carbono: $0,3\%$ a $0,6\%$ de C; e
- c) alto carbono: $> 0,6\%$ de C.

Para Taylor, a facilidade com que um material pode ser usinado depende de pelo menos doze variáveis. Serão relacionadas a seguir cinco variáveis de grande importância, e que influem na usinabilidade dos materiais (STEMMER, 2007):

- a) variáveis dependentes da máquina: devem ser avaliados a rigidez estática e dinâmica da máquina, condições de amortecimento e frequências próprias de vibração na faixa de trabalho, potência e força de corte disponíveis na ponta da ferramenta e a gama de velocidades de corte e de avanço;
- b) variáveis dependentes da ferramenta: estão relacionadas com estas variáveis a geometria da ferramenta (ângulos, raio de quina, dimensões, forma do gume, etc.), o material da ferramenta (composição química, dureza a quente, tenacidade, tratamento térmico, etc.) e a qualidade do gume (grau de afiação, desgaste, trincas, rugosidade da face e dos flancos, etc.);
- c) variáveis dependentes da peça: neste quesito, deve ser avaliado a forma, dimensões e rigidez da peça, propriedades físicas e mecânicas do material da peça (dureza, resistência a tração, inclusões, encruamento, etc.) e temperatura da peça (usinagem em altas e baixas temperaturas);
- d) variáveis dependentes do fluido lubrificante-refrigerante: deve ser avaliado neste ponto as propriedades refrigerantes do fluido, as propriedades lubrificantes, a temperatura do fluido, a quantidade, a forma e a intensidade de aplicação; e
- e) variáveis dependentes do processo: dentro das variáveis dependentes do processo, devemos avaliar fatores como a velocidade de corte, dimensões de usinagem (avanço e profundidade), e o modo de atuação da ferramenta sobre a peça (condições de entrada e saída, corte contínuo ou interrompido, etc.).

Os principais critérios utilizados para a avaliação do grau de usinabilidade de um determinado material são (STEMMER, 2007):

- a) vida da ferramenta entre duas reafiações sucessivas;
- b) grandezas da força que atuam sobre a ferramenta;
- c) qualidade do acabamento superficial obtido pela usinagem; e
- d) facilidade na remoção do cavaco.

O fator metalúrgico dos aços predominante com respeito a usinabilidade é a dureza. Aços com baixo percentual de carbono, baixa dureza e com alta ductilidade, têm tendência à formação da aresta postiça de corte e, como consequência, a

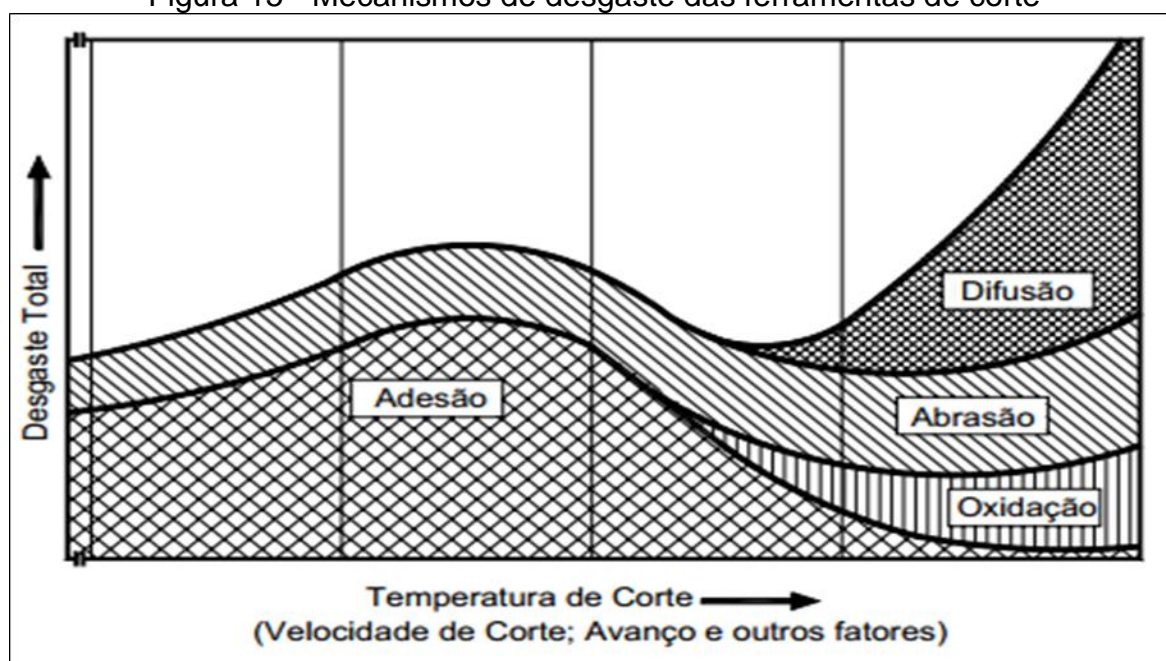
redução da vida da ferramenta e deterioração do acabamento superficial (DINIZ, MARCONDES, COPPINI 2013).

2.9 MECANISMOS DE DESGASTE

A vida útil da ferramenta é um dos principais critérios de usinabilidade. O fim de vida pode ser identificado por uma alteração da qualidade superficial, aumento da força de corte, aumento de ruídos, entre outros (MOCELLIN, 2002).

O diagrama da Figura 15 mostra os mecanismos de desgaste das ferramentas de corte, com distribuição em função da temperatura de corte, velocidade de corte e avanço (KÖNIG, KLOCKE, 1997).

Figura 15 - Mecanismos de desgaste das ferramentas de corte



Fonte: König e Klocke (1997)

Apesar de se buscar materiais com maior resistência ao desgaste e dureza, durante a usinagem quase sempre é observado algum tipo de desgaste na ferramenta de corte, e sua substituição torna-se inevitável.

Desta forma, o estudo do mecanismo de desgaste é importante para o processo, já que se busca minimizar tal fenômeno e, conseqüentemente, aumentar a vida útil das ferramentas de corte utilizadas na usinagem dos materiais.

A seguir, serão relacionados estes quatro mecanismos de desgaste que, são os mais frequentes no processo de furação (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2013):

- a) abrasão: é uma das principais causas de desgaste da ferramenta. O desgaste gerado pela abrasão é incentivado pela presença de partículas duras no material da peça e pela temperatura de corte, que reduz a dureza da ferramenta. Assim, quanto maior a dureza a quente da ferramenta, maior sua resistência ao desgaste abrasivo. O mecanismo de abrasão gera preferencialmente o desgaste de flanco (V_b);
- b) difusão: a difusão é o transporte de massa através do movimento dos átomos, e no caso de um sólido, temos essa transferência de um metal para outro. Para ocorrer o desgaste por difusão, necessita-se de três condições, que são: temperatura na região de contato, tempo de permanência desse contato e, afinidade química entre os constituintes. Um dos desgastes mais comuns ocasionado pelo mecanismo de difusão é o desgaste de cratera (K_w), que ocorre quando associado às condições de altas velocidades de corte;
- c) adesão: esse mecanismo predomina em baixas velocidades de corte e baixos avanços. O que causa a aderência é o fluxo irregular de cavaco que passa pela superfície de folga e/ou de saída da ferramenta de corte. O fenômeno da aderência pode estar presente com ou sem a formação da aresta postiça de corte. O mecanismo de adesão gera preferencialmente o desgaste do tipo lascamento. Tem grande influência na diminuição desse tipo de desgaste a utilização adequada do fluido de corte (principalmente com efeito lubrificante) e o recobrimento da ferramenta com materiais de baixo coeficiente de atrito, como, o Nitreto de Titânio; e
- d) oxidação: altas temperaturas e presença de ar e água contidas nos fluidos de corte, geram oxidação para a maioria dos metais. A oxidação é um desgaste que geralmente afeta a aresta lateral de corte da ferramenta, isso faz com que o acabamento seja prejudicado. O mecanismo de oxidação gera preferencialmente o desgaste de flanco máximo ($V_b \text{ máx.}$).

Resumindo, o desgaste de flanco é causado principalmente por abrasão (em altas velocidades de corte), por aderência e pelo cisalhamento da aresta postiça de corte. O desgaste de cratera ocorre, principalmente, por difusão, mas, também por aderência e, o desgaste de entalhe, ocorre por oxidação (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2013).

A determinação do fim de vida de uma ferramenta está diretamente relacionada com a perda da capacidade de corte, e é avaliada normalmente por um determinado grau de desgaste. Na usinagem de metais, alguns desgastes têm destaque por serem avaliados como critério do fim de vida da ferramenta. A norma ISO 3685 recomenda, para o aço-rápido e o metal duro, um desgaste de flanco médio $VB_b = 0,3\text{mm}$, e um desgaste de flanco máximo $VB_{b\text{max}} = 0,6\text{mm}$ (SANTOS, SALES, 2007).

A Tabela 2 resume os principais tipos de desgastes, as prováveis causas, bem como as ações a serem tomadas para minimizar o desgaste das brocas durante o processo de usinagem (DINIZ, MARCONDES, COPPINI, 2013).

Tabela 2 - Tipos de desgastes de brocas

Desgaste	Possíveis causas	Ações para correção
Desgaste de flanco	- Vc muito alta ou muito baixa (se a causa for APC)	- Redução da Vc
	- Resistência ao desgaste insuficiente da ferramenta	- Seleção da classe de broca mais resistente ao desgaste
	- Abrasão	- Aumento da Vc se o desgaste dor causado pela APC
	- Aresta postiça de corte	
Desgaste de entalhe		- Seleção de fluido de corte com agentes oxidantes
	- Oxidação	- Redução da Vc
Desgaste de cratera	- Difusão	- Seleção de classe de broca com cobertura de óxido de al
Deformação plástica	- Altas temperaturas combinadas com altas pressões na região de corte	- Seleção de classe de broca com maior dureza a quente
		- Redução da Vc
Trincas de origem mecânica	- Variação excessiva de esforço na aresta de corte	- Seleção de uma classe de broca mais tenaz
		- Redução do avanço
		- Suavização do primeiro contato da ferramenta/peça
		- Aumento da estabilidade
Trincas de origem térmica	- Excessiva variação de temperatura	- Seleção de classe de broca mais tenaz - Aplicação de fluido de corte em abundância ou não-aplicação
Lascamento	- Classe de broca muito frágil	- Seleção de classe de broca mais tenaz
	- Geometria da broca muito fraca	- Aumento do ângulo da ponta, raio de ponta e/ou do ângulo de cunha (chanframento de aresta)
	- Choques da broca com a peça	- Suavização do primeiro contato da ferramenta/peça

Fonte: DINIZ, MARCONDES, COPPINI (2013)

2.10 QUALIDADE SUPERFICIAL

O conhecimento das características da superfície usinada é um parâmetro para uma avaliação e atuação nas variáveis envolvidas. A qualidade da superfície usinada apresenta-se em função de quatro parâmetros: rugosidade, ondulação, falhas e marcas de avanço.

No entanto, os processos de usinagem são normalmente classificados apenas em termos do parâmetro de rugosidade, que pode ser definido como um conjunto de irregularidades da superfície real, em relação a uma superfície de referência (SANTOS, SALES, 2007).

A condição final de uma superfície usinada depende de vários fatores, dentre eles podemos relacionar: a rigidez da máquina-ferramenta, geometria da ferramenta de corte, parâmetros de usinagem e homogeneização do material em trabalho.

2.11 FLUÍDO LUBRIRREFRIGERANTE

As principais funções dos fluídos lubrirrefrigerantes são refrigerar em altas velocidades e lubrificar em baixas velocidades de corte (SANTOS, SALES, 2007).

Na função de refrigeração, o fluído deve possuir alguns requisitos, tais como baixa viscosidade, a fim de que flua facilmente, capacidade de “molhar” bem o metal para estabelecer um bom contato térmico, alto calor específico e alta condutividade térmica.

Na função de lubrificação o fluído deve resistir a pressões e temperatura elevadas sem vaporizar, boas propriedades anti-fricção e anti-soldantes e, viscosidade adequada para a aplicação.

No processo de furação, a ação mecânica do fluído é de suma importância, pois ele atua como meio transportador, evitando a obstrução do cavaco na zona de corte e, conseqüentemente, a quebra da ferramenta (SANTOS, SALES, 2007).

A quantidade de fluído lubrirrefrigerante aplicado no processo também é outro fator que deve ser muito bem avaliado. Muitos estudos atualmente buscam reduzir a quantidade de fluído (MQL – Mínima Quantidade de Lubrirrefrigerante), a fim de aumentar a vida útil da ferramenta.

Um estudo realizado pelo Grupo de Usinagem da Universidade de Caxias do Sul (GUS), mostrou que em um mesmo processo de furação do aço P20, com broca

helicoidal de aço-rápido de diâmetro de 8mm, numa furação de 40mm, a aplicação de MQL aumentou a vida útil da ferramenta em 32% em relação a aplicação de fluido em abundância e em 63% para a usinagem sem a aplicação de fluido (ZEILMANN, 2006).

3 PROCEDIMENTO

Neste capítulo foi apresentado o quadro atual do processo de furação dos perfis “U” do aço LN38. Também foram identificadas as principais características do processo, tais como: consumo mensal das brocas, tipo de fluido lubrificante aplicado, material utilizado como perfil, condições do equipamento de furação e características da ferramenta de corte (geometria, método de afiação da ferramenta, material e tipo de revestimento).

Posteriormente, será apresentado o detalhamento da proposta, relacionando o procedimento de como os testes serão realizados, quais pontos serão avaliados para a comparação entre o processo atual de afiação da broca e, o processo de afiação proposto.

3.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO ATUAL

Dentro da Unidade fabril da Agrale, essa é a primeira etapa da montagem do produto. Os perfis “U”, que são conhecidos como longarinas (Anexo 01), passam pelo processo de furação manual, sendo este, realizado por uma furadeira de bancada e brocas helicoidais de aço-rápido revestidas com Nitreto de Titânio, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Método de furação dos perfis



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Posteriormente, ocorre a retirada das rebarbas dos perfis, conforme mostrado na Figura 17. Em seguida o perfil passa pela lavagem para retirar excessos de óleo e/ou oxidações e, posteriormente, o mesmo recebe uma camada de pintura líquida. Ao fim disto, o perfil adentra a linha de montagem e os componentes começam a ser agregados até compor todo o veículo, mostrado na Figura 18.

Figura 17 - Método de rebarbação dos perfis



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Figura 18 - Produto montado



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

3.2 CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO ATUAL

O início do processo se dá através da ordem de produção, que determina a furação de um determinado perfil de acordo com o modelo de produto a ser produzido. Cada modelo de perfil possui um dispositivo de furação (conhecidos como máscaras) com buchas guias de aço temperado que são fixadas nos locais de furação de acordo a posição e o diâmetro especificado no desenho do perfil.

Este dispositivo é então sobreposto ao perfil e fixado à mesa de furação, conforme mostra a Figura 19. Esta mesa, onde o perfil e o dispositivo são fixados, se desloca conforme a necessidade da furação.

Figura 19 - Dispositivo para furação dos perfis



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

O material do perfil utilizado neste processo de furação é o aço LN38, com espessuras de 6,35 e 8mm. Sua composição química é verificada na Tabela 3, já suas propriedades mecânicas são verificadas na Tabela 4, conforme NBR 6656. As tolerâncias dimensionais exigidas para a furação são especificadas conforme a norma DIN 7168 – g, Tabela 5. A rugosidade exigida segue os padrões da norma ISO 1302.

Tabela 3 - Composição química do aço LN38

Aço	Composição química (%)					
	C	Mn (Máx)	P (Max)	S (Max)	Al (Min)	Si (Max)
LN38	0,12	1,1	0,03	0,015	0,02	0,35

Fonte: CSN – Companhia Siderúrgica Nacional (2014)

Tabela 4 - Propriedades mecânicas do aço LN38

Aço	Limite de escoamento (Mpa)	Limite de resistência à tração (Mpa)
LN38	380 a 530	460 a 600

Fonte: CSN – Companhia Siderúrgica Nacional (2014)

Tabela 5 - Tolerâncias dimensionais do processo de furação

Diâmetro do furo (mm)	Tolerância (mm)
0,5 a 3	0,15
3 a 6	0,2
6 a 30	0,5
30 a 120	0,8

Fonte: Norma DIN 7168(1991)

O equipamento utilizado para a furação atualmente é uma furadeira de bancada da marca S A Yadoya, ilustrada na Figura 20.

Este equipamento apresenta folgas em seu sistema e se percebe vibrações durante seu funcionamento, o que pode gerar desgastes nas arestas cortantes da broca e, conseqüentemente, diminuir a vida útil da ferramenta (SANTOS, SALES, 2007).

Atualmente, o equipamento apresenta rotações que variam entre 209 e 599 RPM. Com a rotação máxima, por exemplo, é alcançada uma velocidade de corte, para uma broca de 13,5mm de diâmetro, de aproximadamente 25,4 m/min, onde que, comparado com a fundamentação teórica, está um pouco abaixo do recomendado para este material, onde o recomendado seria uma velocidade de corte entre 30 a 40 m/min (vide Tabela 01 de parâmetros de velocidade de corte para HSS).

Figura 20 - Furadeira utilizada no processo de furação



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

A ferramenta de corte utilizada neste processo é uma broca helicoidal de aço-rápido revestida com nitreto de titânio. A construção da broca segue os padrões das normas DIN 341 e DIN 345, sendo que os diâmetros variam de 7 a 35mm. Os ângulos da parte cortante da broca são verificados na Tabela 6.

Tabela 6 - Ângulos da parte cortante da broca

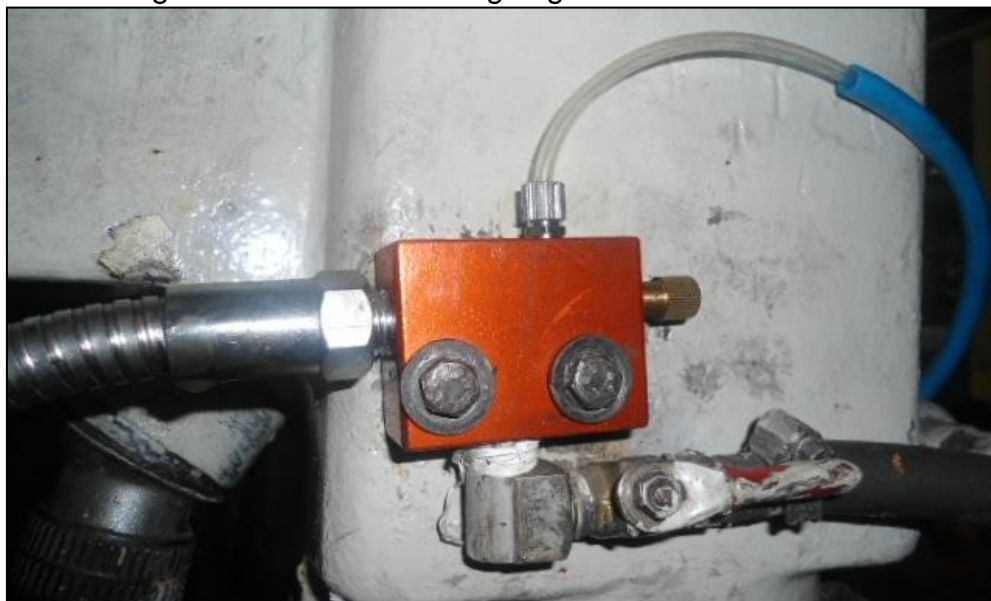
Ângulo de ponta (σ)	Ângulo de hélice (Y)
118° +/- 5°	30° +/- 5°

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

A lubrificação e a refrigeração entre a peça e a ferramenta ocorre através da pulverização do fluido lubrificadorrefrigerante ECOCOL MH 6010, o qual, suas características e composição estão no Anexo 02.

Atualmente, não há nenhum estudo sobre a quantidade do fluido aplicado, sendo o mesmo pulverizado continuamente sobre a broca e o material, de acordo com a avaliação do operador, que regula a quantidade do fluido manualmente, bem como a pressão de entrada, conforme verificado na Figura 21.

Figura 21 - Sistema de regulagem da vazão do fluido



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

A afiação da ferramenta é realizada de forma manual, através de um rebolo de material abrasivo, conforme verificado na Figura 22. O parâmetro para a reafiação da broca se dá através da percepção do operador quando do aumento da força de avanço para realizar o corte.

A afiação realizada, atualmente, é do tipo redução do gume transversal, mantendo o mesmo ângulo de ponta de 118° . Esta afiação está especificada no procedimento interno da empresa IT-CA-331, conforme Anexo 03.

Figura 22 - Afiação manual da ferramenta



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

3.3 DETALHAMENTO DA PROPOSTA

A proposta de otimização desse processo baseia-se em alterar o método de afiação das brocas helicoidais de aço-rápido revestidas com TiN, onde, serão avaliados outros tipos de afiação, bem como diferentes ângulos de ponta da broca.

Esta proposta visa principalmente aumentar a vida útil da ferramenta e, conseqüentemente, reduzir os custos de fabricação dos perfis.

Os testes serão realizados na própria célula de produção, utilizando sempre o mesmo equipamento e, operado pelo mesmo operador.

Para a realização dos testes, serão utilizadas brocas de 13,5mm de diâmetro, devido ao fato de que essas brocas apresentam um maior consumo mensal, conforme verificado na Tabela 7, referente ao consumo mensal de brocas em três meses deste ano.

Para a análise comparativa entre os diferentes tipos de afiação e ângulos de ponta das brocas, alguns critérios serão avaliados, tais como: desgaste da ferramenta, qualidade superficial (variação dimensional), tipos de rebarbas geradas, tempo de rebarbação e, principalmente, número de furos processados por cada broca ensaiada, tendo em vista que este é o foco do projeto.

Tabela 7 - Consumo mensal das brocas de aço-rápido

Consumo Mensal de brocas						
Broca - Diâmetro	fev/14		mar/14		abr/14	
	Qtde	R\$	Qtde	R\$	Qtde	R\$
7mm	2	R\$ 162,00	4	R\$ 324,00	8	R\$ 648,00
9mm	16	R\$ 1.810,88	10	R\$ 1.131,80	14	R\$ 1.584,52
11mm	8	R\$ 625,36	0	R\$ 0,00	12	R\$ 938,04
13,5mm	20	R\$ 1.936,00	12	R\$ 1.161,60	18	R\$ 1.742,40
14mm	0	R\$ 0,00	2	R\$ 166,84	2	R\$ 166,84
15,5mm	3	R\$ 371,40	2	R\$ 247,60	7	R\$ 866,60
20mm	0	R\$ 0,00	6	R\$ 697,56	2	R\$ 232,52
22,5mm	6	R\$ 1.075,20	6	R\$ 1.075,20	3	R\$ 537,60
28mm	1	R\$ 270,00	2	R\$ 540,00	0	R\$ 0,00
35mm	0	R\$ 0,00	1	R\$ 480,00	0	R\$ 0,00
Total	56	R\$ 6.250,84	53	R\$ 6.836,14	66	R\$ 6.716,52

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Ao longo do desenvolvimento deste projeto, onde os ensaios com as brocas de aço-rápido revestidas com TiN, tiveram duração de aproximadamente seis semanas, foram compilados todos os dados necessários a fim de realizar a análise da otimização do processo de afiação das ferramentas.

Para o desenvolvimento dos ensaios, foram definidos primeiramente os parâmetros de corte, tais como:

- a) velocidade de corte: devido ao fato do equipamento de corte possuir apenas duas velocidades de corte já pré-definidas (209 e 599 RPM), a velocidade utilizada foi a de 599 RPM, gerando assim para uma broca de 13,5 mm de diâmetro, conforme a equação 01, uma velocidade de corte de:

$$V_c = \frac{\pi \cdot 13,5 \cdot 599}{1000} \quad (01)$$

$$V_c = 25,4 \text{ m/min}$$

- b) fluido lubrificante: neste parâmetro, tendo em vista que não há, atualmente, nenhum estudo realizado para se definir a quantidade ideal do fluido utilizado no processo, foi monitorado e, posteriormente, definido uma quantidade padrão para o período da realização dos testes. Este ensaio consistiu em abastecer o recipiente utilizado com o fluido já na estequiometria da mistura (8 a 10% em água), e posteriormente mensurar quantos furos era possível processar utilizando a quantidade contida no recipiente de 1,7litros. Após esta avaliação, o dosador da quantidade de fluido e da pressão foi regulado para que o fluido pulverizado na peça/ferramenta tivesse uma vazão aproximada de 0,38 ml/furo processado.
- c) critério de avaliação para a reafiação da ferramenta: tendo em vista que os parâmetros de rugosidade e variação dimensional dos furos processados, não são requisitos que afetam a qualidade do produto como um todo, o critério adotado para a reafiação da broca foi o de aumento da

força de avanço para realizar o corte, conforme verificado no item 2.5 deste projeto.

O parâmetro da velocidade de avanço não pode ser definido, tendo em vista que o processo é realizado manualmente, variando assim a velocidade de avanço, quando da mudança de um operador para outro. Sendo assim, para minimizar os possíveis erros gerados por este critério, todos os furos processados durante os ensaios foram realizados sempre pelo mesmo operador.

Como relatado no item 3.2, o método de afiação definida para este processo é do tipo redução do gume transversal, com ângulo de ponta $\sigma = 118^\circ$. Porém, como a afiação é realizada de forma manual, e por vários operadores, nem sempre este ângulo, ou este tipo de afiação são mantidos, variando assim o rendimento das brocas de acordo com o operador.

Para a avaliação do rendimento das brocas de aço-rápido, seis brocas foram ensaiadas, onde as mesmas foram afiadas com diferentes ângulos de ponta, bem como diferentes tipos de afiação.

As brocas B1 e B3 foram afiadas pelo operador da furadeira na própria máquina de afiação da célula de trabalho, onde o ângulo de ponta foi controlado manualmente através do uso de um transferidor. Já as brocas B2, B4, B5 e B6, foram afiadas em uma máquina de afiação, a qual controla e garante o ângulo de ponta durante a afiação.

As seis brocas foram identificadas conforme descrito na Tabela 8.

Tabela 8 - Identificação das brocas

Tipo de afiação	Ângulo de ponta e método de medição do ângulo			
	Máquina		Manual	
	118°	140°	118°	140°
Redução do gume transversal	B4	B2	B1	-
Afiação cruzada	B6	B5	-	B3

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o desenvolvimento dos testes, todas as seis brocas foram analisadas quanto ao desgaste, variação dimensional dos furos, tipo de rebarba gerada e, principalmente, número de furos processados por cada broca.

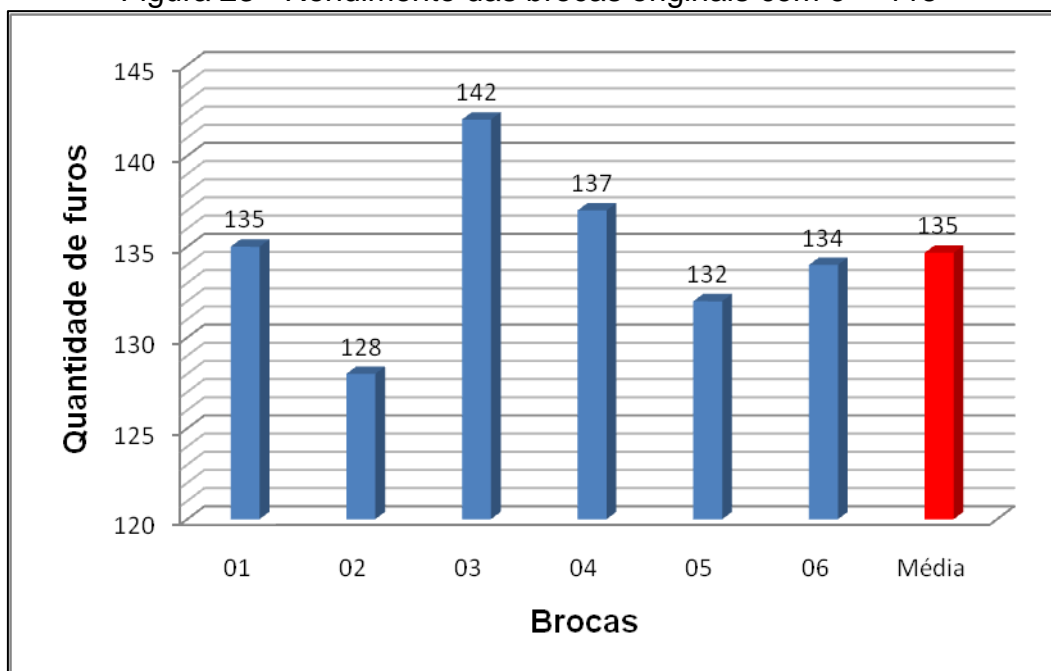
A seguir, todas estas análises serão melhor detalhadas de acordo com a broca analisada.

4.1 BROCA COM AFIAÇÃO ORIGINAL

Inicialmente, as brocas foram avaliadas em sua condição original, ou seja, com o ângulo de ponta de 118° e, com o revestimento de nitreto de titânio em toda a superfície da parte cortante da broca.

O rendimento das brocas na condição original pode ser melhor visualizado no gráfico da Figura 23. Pode-se notar que o rendimento das brocas nesta condição manteve-se praticamente o mesmo em ambas as seis brocas ensaiadas.

Figura 23 - Rendimento das brocas originais com $\sigma = 118^\circ$



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

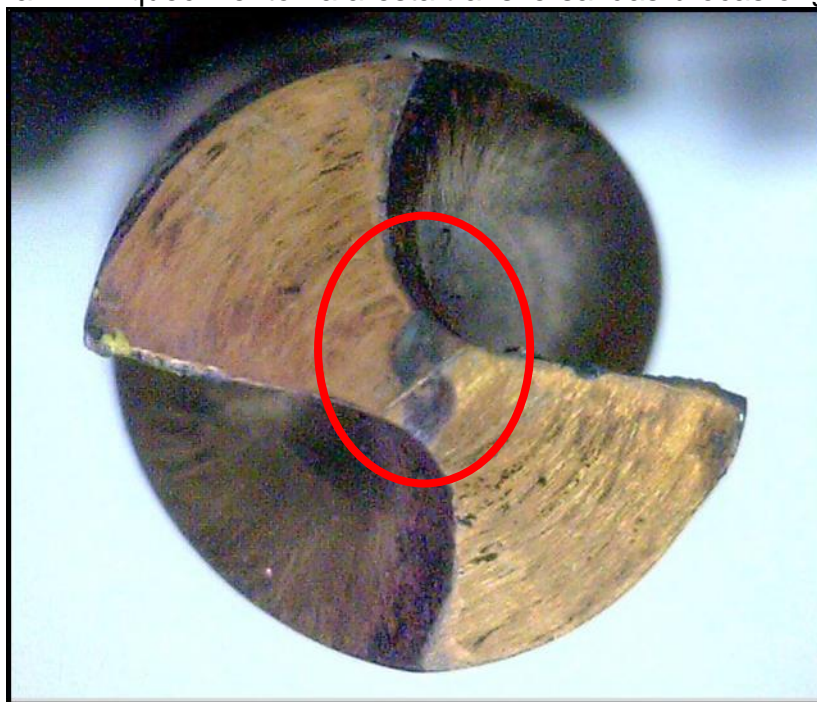
Outro item avaliado na condição original de afiação foi o desgaste na parte cortante da broca.

O desgaste foi avaliado no 100º furo usinado pela broca. A Figura 24 mostra o desgaste nesta situação. Para as análises dos desgastes, foi utilizado um microscópio da própria empresa da marca Dino-Lite Digital Microscope, com ampliação de 230 vezes. Porém, para as fotos retiradas para a avaliação dos desgastes, foram utilizadas ampliações de 15 a 20 vezes.

Como se pode perceber, a broca apresentou pequenos lascamentos ao longo do seu gume principal, bem como sinais de aquecimento na região do gume transversal, que demonstram que a broca teve uma solicitação térmica neste ponto.

Como visto na teoria, os ângulos de ponta menores, tendem a dissipar menos calor em relação a ângulos de ponta maiores, por isso nota-se uma este sinal de aquecimento no gume transversal (STEMMER, 2005).

Figura 24 - Aquecimento na aresta transversal das brocas originais



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Outro item que foi avaliado foi a variação dimensional dos furos. Para esta análise foi utilizado um perfil como corpo de prova onde foram processados três furos e, posteriormente, foram medidos três pontos em cada furo, totalizando assim nove valores de medição. Para realizar esta medição foi utilizado um paquímetro digital da marca Insize, com resolução de 0,01mm.

A Tabela 9 mostra os valores da variação dimensional dos furos processados com a broca na condição de afiação original.

Tabela 9 - Variação dimensional dos furos das brocas originais

Furo	Medição 1 (mm)	Medição 2 (mm)	Medição 3 (mm)	Média (mm)
1	13,83	13,56	13,50	13,61
2	13,60	13,55	13,55	
3	13,86	13,55	13,50	

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

De acordo com a norma DIN 7168, que especifica os limites de tolerâncias, o valor médio encontrado de 13,61mm encontra-se dentro do especificado.

A rugosidade da superfície dos furos processados não foi analisada neste projeto, devido ao fato de não ser um requisito relevante no processo atual. Portanto, apenas para uma avaliação visual, uma foto foi retirada dos furos processados pelas seis brocas ensaiadas. A Figura 25 mostra os furos processados pela broca em sua condição original.

Figura 25 - Furos processados pelas brocas com a afiação original



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Outro ponto avaliado foi a rebarba gerada pelas brocas originais com ângulo de ponta de 118° . A Figura 26 mostra estas rebarbas.

Neste aspecto, confirmou-se a teoria que diz que a rebarba originada por uma broca com ângulo de ponta de 118° é maior em relação à rebarba gerada por uma broca com ângulo de ponta mais obtuso o que, dificulta mais o processo posterior de retirada das rebarbas (SKF, 1987).

O tempo médio cronometrado para a retirada das rebarbas, em um perfil com 98 furos, processados com a broca de 118° de ângulo de ponta, foi de 223 segundos.

Figura 26 - Rebarba das brocas com o ângulo original de 118°



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Posteriormente, todas as seis brocas foram ensaiadas. As brocas B1 e B3 foram afiadas na própria célula de trabalho, sendo que as mesmas foram afiadas dez vezes cada uma, devido à facilidade de se realizar a afiação.

Já as brocas B2, B4, B5 e B6 foram afiadas em outra unidade da empresa com uma máquina afiadora, a qual controla o ângulo de ponta durante a afiação.

Estas brocas foram afiadas seis vezes cada uma, tendo em vista o deslocamento e o tempo que era necessário para realizar esta afiação.

4.2 BROCA B1 - REDUÇÃO DO GUME TRANSVERSAL COM $\sigma = 118^\circ$

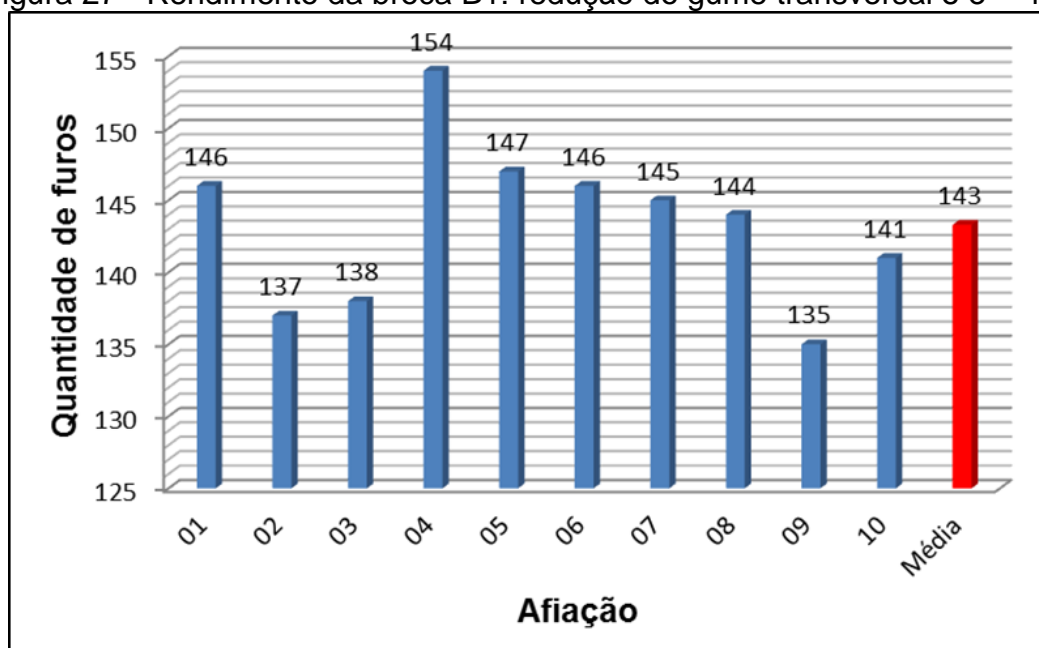
A broca B1 foi afiada na célula de trabalho reduzindo o seu gume transversal, e mantendo um ângulo de ponta $\sigma = 118^\circ$, procedimento realizado atualmente. Este ângulo foi controlado mediante o uso de um transferidor.

Esta afiação manual foi realizada por um operador com grande experiência, a fim de evitar erros geométricos originados por uma má afiação.

Conforme já visto na revisão teórica, a redução do gume transversal se faz necessária para reduzir o tamanho do núcleo, visto que, as brocas são projetadas com um aumento gradativo da espessura do núcleo, da ponta até o final da área de corte para reforçar sua estrutura. Além do aumento do esforço axial da broca, o aumento da espessura do núcleo resulta em erros dimensionais e geométricos nos furos (SKF, 2000).

A Figura 27 mostra o rendimento das brocas com este tipo de afiação. Pode-se perceber que o rendimento se manteve muito próximo à broca com sua afiação original, visto que a única diferença entre elas é a redução do gume transversal.

Figura 27 - Rendimento da broca B1: redução do gume transversal e $\sigma = 118$



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Quanto aos desgastes, os mesmos foram avaliados no 100º furo processado por esta broca. As Figuras 28 e 29 mostram os desgastes no 100º furo. Pode-se perceber na Figura 28 que a broca teve um pequeno desgaste de flanco, bem como pequenos lascamentos ao longo do seu gume principal.

Uma possível solução para reduzir o desgaste de flanco, seria aumentar a velocidade de corte, porém, com o equipamento de furação atual, este aumento não é possível, tendo em vista que o mesmo possui apenas duas velocidades já pré-definidas.

Figura 28 - Desgaste nos gumes principais da broca B1



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Já na Figura 29, é possível perceber um desgaste na guia da broca. Este desgaste está relacionado com a excessiva vibração do equipamento de furação, tendo em vista que as guias da broca ficam em atrito com os guias de aço temperado das mascaradas dos perfis durante a furação.

Pode-se notar, também, que na região da quina da broca há um aspecto de aquecimento, ou seja, durante o processo de furação ocorreu uma solitação térmica nesta região. Isto está relacionado, como também visto anteriormente, ao fato de que brocas com ângulos mais agudos tendem a dissipar menos calor do que em brocas com ângulos mais obtusos (STEMMER, 2005).

Figura 29 - Desgaste na guia da broca B1



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

A Tabela 10 mostra o resultado das medições dos furos e o valor médio encontrado. Neste quesito, a broca B1 também atende a norma DIN 7168, que especifica os limites de tolerâncias, sendo que o valor médio encontrado de 13,63mm encontra-se dentro do especificado. A Figura 30 mostra os furos processados pela broca B1.

Tabela 10 - Variação dimensional dos furos da broca B1

Furo	Medição 1 (mm)	Medição 2 (mm)	Medição 3 (mm)	Média (mm)
1	14,00	13,50	13,40	13,63
2	13,70	13,40	13,39	
3	14,00	13,80	13,50	

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Figura 30 - Furos processados pela broca B1



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

O formato das rebarbas geradas nos furos processados pela broca B1 também foi avaliado e, conforme já verificado nas brocas originais, as rebarbas se mantiveram muito parecidas. Isso pelo fato de que a broca B1 manteve o mesmo ângulo de ponta das brocas originais de 118° . A Figura 31 mostra a rebarba gerada pela broca B1.

Figura 31 - Rebarba da broca B1: redução do gume transversal e $\sigma = 118^\circ$ 

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

4.3 BROCA B2 - REDUÇÃO DO GUME TRANSVERSAL COM $\sigma = 140^\circ$

A broca B2 foi afiada seis vezes reduzindo o gume transversal, mantendo um ângulo de ponta de 140° . Essa afiação foi realizada em uma máquina da marca Rohdê e Dörrenberg, onde durante a afiação, o ângulo da ponta foi controlado.

Esse processo de afiação consiste em fixar a broca em um dispositivo e, regular o ângulo de tal maneira, que o gume principal da broca fique próximo ao rebolo da máquina.

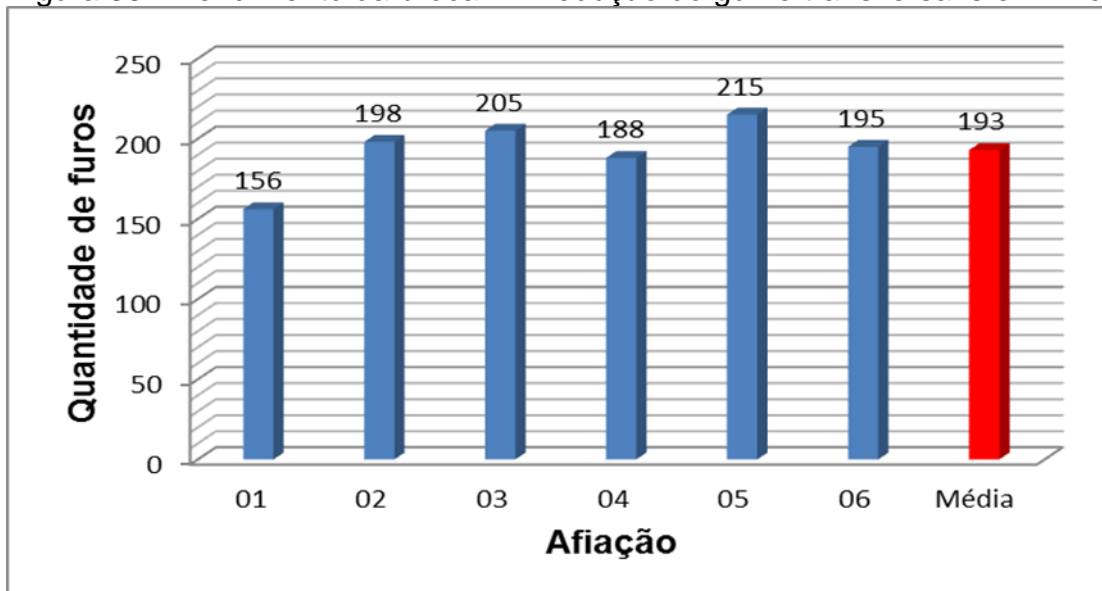
Posteriormente, através de movimentos contínuos de subida e descida do dispositivo de fixação da broca, o material da ponta da broca vai sendo retirado pelo rebolo, e o novo ângulo é formado. A Figura 32 mostra a máquina de afiação das brocas.

Figura 32 - Máquina de afiação de brocas



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

A Figura 33 mostra a quantidade de furos processados pela broca B2.

Figura 33 - Rendimento da broca B2: redução do gume transversal e $\sigma = 140^\circ$ 

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Quanto ao desgaste, a broca B2 foi avaliada no 100º furo processado. As Figuras 34 e 35 mostram os desgastes observados neste tipo de afiação.

Na broca B2, observa-se um desgaste de flanco $V_b \text{ Max} = 0,498 \text{ mm}$, porém este valor está representado pela letra “L” em todas as figuras.

Figura 34 - Desgaste de flanco da broca B2



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Já na Figura 35, observa-se pouco desgaste ao longo da guia da broca, bem como se pode notar que houve uma menor solitação térmica na quina da broca em relação à broca anterior.

Isto se deve ao fato de que o ângulo de ponta da broca B2 é mais obtuso em relação à broca B1e, portanto, dissipa mais calor (STEMMER, 2005).

Figura 35 - Desgaste da guia da broca B2



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

A Tabela 11 mostra o resultado das medições dos furos e o valor médio encontrado, os quais se encontram também dentro do especificado.

Tabela 11 - Variação dimensional dos furos da broca B2

Furo	Medição 1 (mm)	Medição 2 (mm)	Medição 3 (mm)	Média (mm)
1	13,50	13,40	13,29	13,36
2	13,50	13,35	13,27	
3	13,40	13,31	13,25	

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

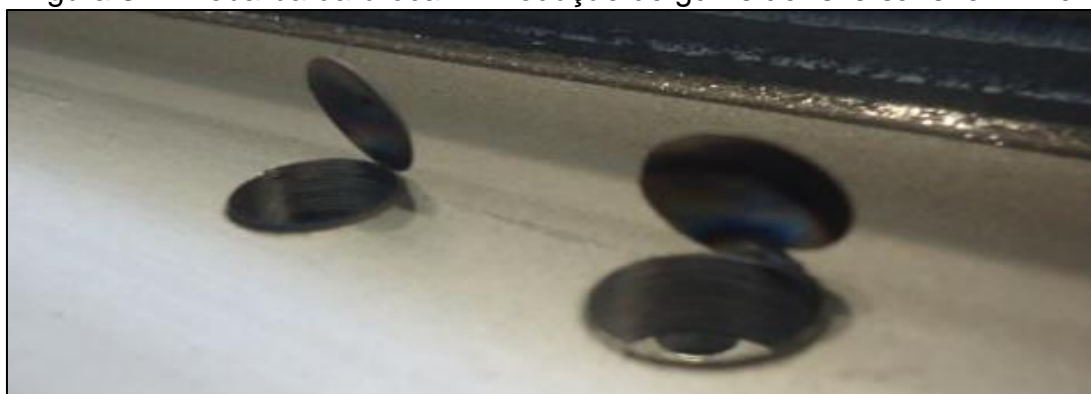
A Figura 36 mostra os furos processados pela broca B2.

Figura 36 - Furos processados pela broca B2



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

A geração de rebarba pela broca B2 é apresentada na Figura 37. Pode-se notar aqui, que a rebarba gerada é menor em relação à rebarba gerada pela broca B1, o que também confirma a teoria, que diz que ângulos mais obtusos geram rebarbas menores (SKF, 1987).

Figura 37 - Rebarba da broca B2: redução do gume transversal e $\sigma = 140^\circ$ 

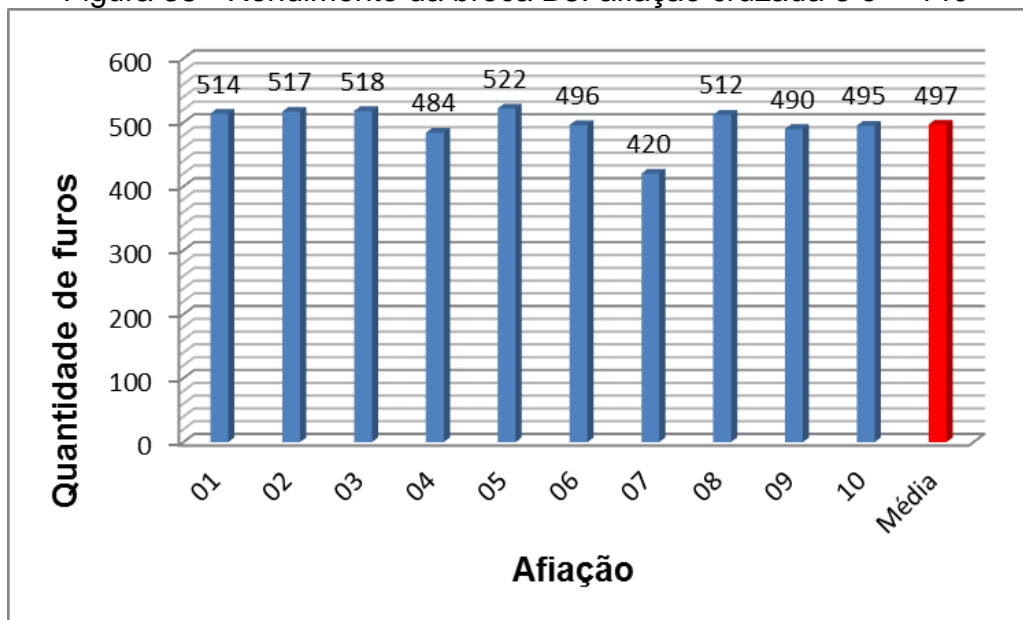
Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

4.4 BROCA B3 - AFIAÇÃO CRUZADA COM $\sigma = 140^\circ$

A broca B3 foi afiada na própria célula de trabalho manualmente e teve seu ângulo controlado através de um transferidor. O método de afiação realizado foi do

tipo afiação cruzada, reduzindo os flancos da broca e mantendo um ângulo de ponta $\sigma = 140^\circ$. A Figura 38 mostra o rendimento da broca B3 nesta condição de afiação.

Figura 38 - Rendimento da broca B3: afiação cruzada e $\sigma = 140^\circ$



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Com este tipo de afiação cruzada, e mantendo um ângulo de ponta da 140° , nota-se um bom desempenho das brocas em termos de número de furos processados.

O que colaborou com este bom resultado foi o fato de o operador que afiou manualmente as brocas ter bastante experiência, com isso, não ocorreram erros geométricos durante a afiação. A Figura 39 mostra a afiação realizada.

Figura 39 - Afiação manual da broca B3



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Outro motivo que colaborou para o bom rendimento da broca B3 é o fato de que o ângulo de ponta de 140° dissipa mais calor em relação ao ângulo de ponta de 118° , diminuindo assim o aquecimento da broca (STEMMER, 2005).

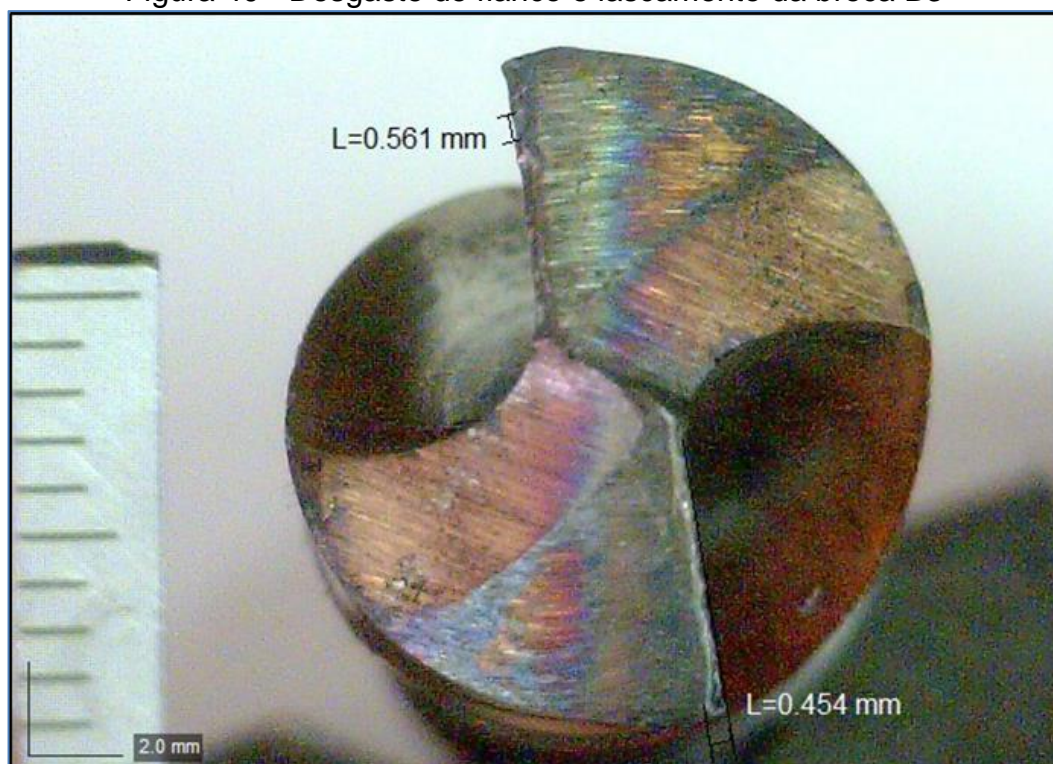
Outro ponto de fundamental importância foi o tipo de afiação realizada, onde que, com afiação cruzada, a força de avanço necessária para realizar o corte se torna menor (SKF, 1987).

Tendo em vista, que a força de avanço é atualmente o critério utilizado para determinação do fim da vida útil das brocas, o tipo de afiação realizada se torna fundamental no rendimento das mesmas.

Quanto ao desgaste, a broca B3 também foi avaliada no 100° furo processado. As Figuras 40 e 41 mostram os desgastes observados neste tipo de afiação.

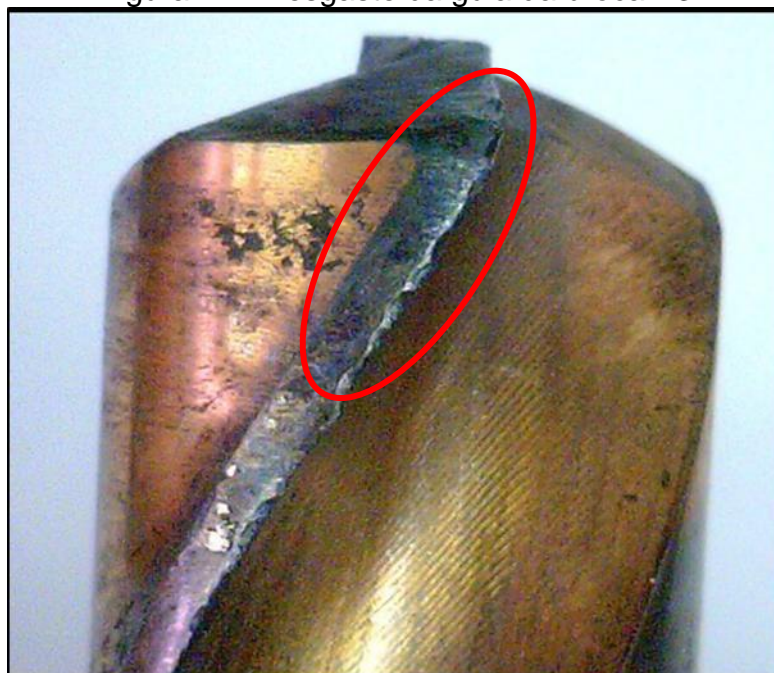
Nos gumes principais observa-se um desgaste de flanco $V_b \text{ Max} = 0,454\text{mm}$, e lascamentos, onde o maior medido apresentou um valor de $0,561\text{mm}$. Já na guia da broca, pode-se notar pequenos lascamentos, o que é originado devido à excessiva vibração do equipamento de furação. (STEMMER, 2005)

Figura 40 - Desgaste de flanco e lascamento da broca B3



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Figura 41 - Desgaste da guia da broca B3



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

A Tabela 12 mostra o resultado das medições dos furos e o valor médio encontrado. Já a Figura 42 mostra os furos processados pela broca B3.

Tabela 12 - Variação dimensional dos furos da broca B3

Furo	Medição 1 (mm)	Medição 2 (mm)	Medição 3 (mm)	Média (mm)
1	13,90	13,40	13,30	13,59
2	13,87	13,51	13,35	
3	13,87	13,67	13,45	

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Figura 42 - Furos processados pela broca B3



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Quanto à rebarba gerada, a broca B3 apresentou um resultado bem semelhante à broca B2, isso pelo motivo de que as duas brocas possuem o mesmo ângulo de ponta. A Figura 43 mostra a rebarba gerada pela broca B3.

Figura 43 - Rebarba da broca B3: afiação cruzada e $\sigma = 140^\circ$



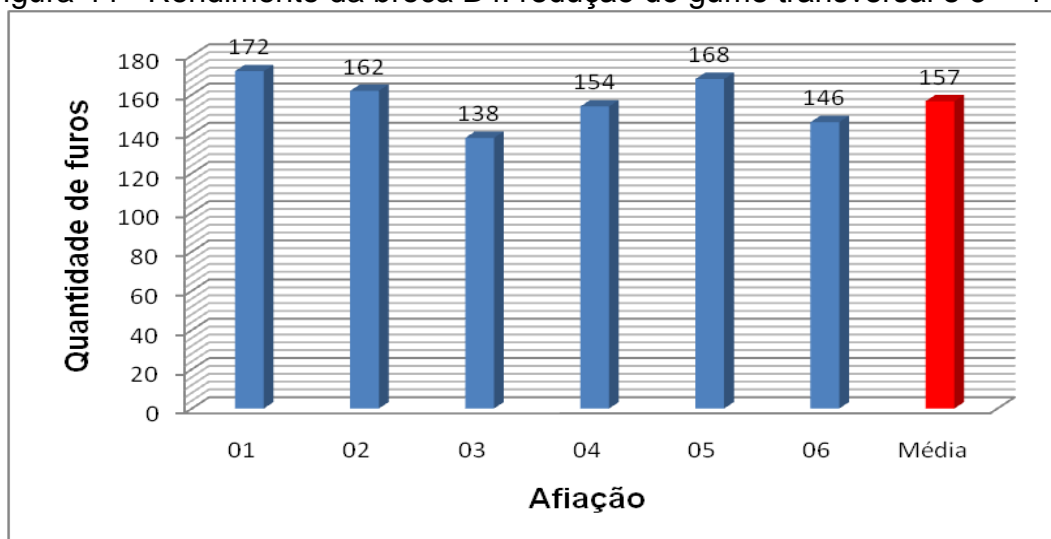
Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

O tempo médio necessário para a retirada das rebarbas geradas pela broca B3, em um perfil com 98 furos, foi de 83 segundos.

4.5 BROCA B4 - REDUÇÃO DO GUME TRANSVERSAL COM $\sigma = 118^\circ$

A broca B4 foi afiada seis vezes na máquina afiadora controlando o ângulo da ponta, onde foi realizada a afiação do tipo redução do gume transversal e, mantido um ângulo de ponta $\sigma = 118^\circ$. A Figura 44 mostra o rendimento da broca nesta condição de afiação.

Figura 44 - Rendimento da broca B4: redução do gume transversal e $\sigma = 140^\circ$



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Quanto ao desgaste, a broca B4 também foi avaliada no 100° furo processado. A Figura 45 mostra os desgastes observados neste tipo de afiação. A broca B4 também apresentou um pequeno desgaste de flanco, bem como lascamentos no gume principal.

Figura 45 - Desgaste de flanco da broca B4



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

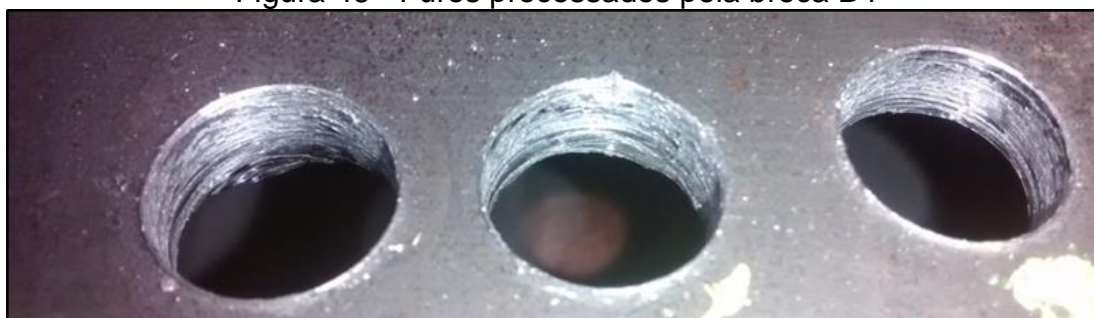
A Tabela 13 mostra o resultado das medições dos furos e o valor médio encontrado. A Figura 46 mostra os furos processados pela broca B4.

Tabela 13 - Variação dimensional dos furos da broca B4

	Medição 1 (mm)	Medição 2 (mm)	Medição 3 (mm)	Média (mm)
1	13,75	13,45	13,30	13,48
2	13,82	13,37	13,20	
3	13,60	13,44	13,35	

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

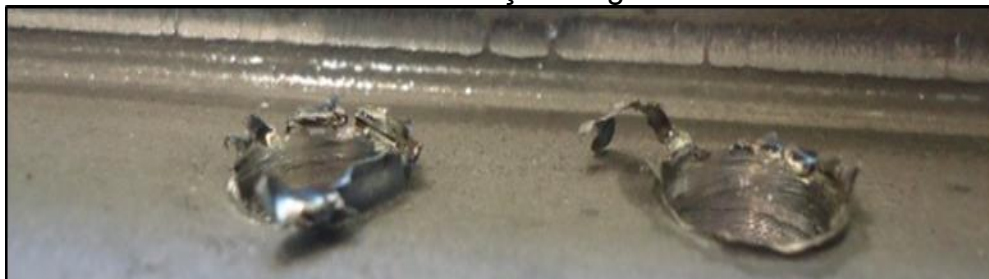
Figura 46 - Furos processados pela broca B4



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Quanto a geração da rebarba, a broca B4 apresentou um resultado bem semelhante a B1, isso pelo motivo de as duas brocas possuírem o mesmo ângulo de ponta. A Figura 47 mostra a rebarba gerada pela broca B4.

Figura 47 - Rebarba da broca B4: redução do gume transversal com $\sigma = 118^\circ$

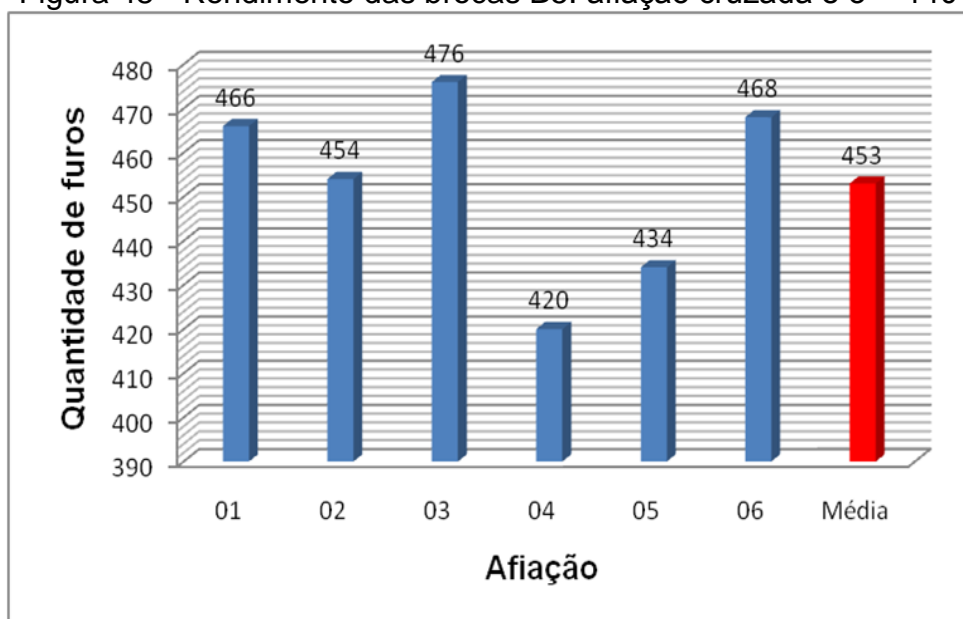


Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

4.6 BROCA B5 - AFIAÇÃO CRUZADA COM $\sigma = 140^\circ$

A broca B5 foi afiada seis vezes na máquina afiadora controlando o ângulo da ponta, onde foi realizada a afiação do tipo afiação cruzada e mantido um ângulo de ponta $\sigma = 140^\circ$. A Figura 48 mostra o rendimento da broca nesta condição de afiação.

Figura 48 - Rendimento das brocas B5: afiação cruzada e $\sigma = 140^\circ$



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Na questão do desgaste, a broca B5 também foi avaliada no 100º furo processado. As Figuras 49 e 50 mostram os desgastes observados neste tipo de

afiação. A broca B5 também apresentou um desgaste de flanco $V_b \text{ Max} = 0,400\text{mm}$, e um lascamento da quina da broca de $0,730\text{mm}$. Já na Figura 52, não se pode notar um significativo desgaste na guia da broca.

Figura 49 - $V_b \text{ Max}$ e lascamento do gume principal da broca B5



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Figura 50 - Desgaste da guia da broca B5



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

A Tabela 14 mostra o resultado das medições dos furos e o valor médio encontrado. Já a Figura 51 mostra os furos processados pela broca B5.

Tabela 14 - Variação dimensional dos furos da broca B5

Furo	Medição 1 (mm)	Medição 2 (mm)	Medição 3 (mm)	Média (mm)
1	13,86	13,44	13,40	13,63
2	14,50	13,50	13,20	
3	14,00	13,45	13,30	

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Figura 51 - Furos processados pela broca B5



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Quanto a geração da rebarba, a broca B5 apresentou um resultado bem semelhante a broca B3, isso pelo motivo de as duas brocas possuírem o mesmo ângulo de ponta. A Figura 52 mostra a rebarba gerada pela broca B5.

Figura 52 - Rebarba da broca B5: afiação cruzada e $\sigma = 140^\circ$

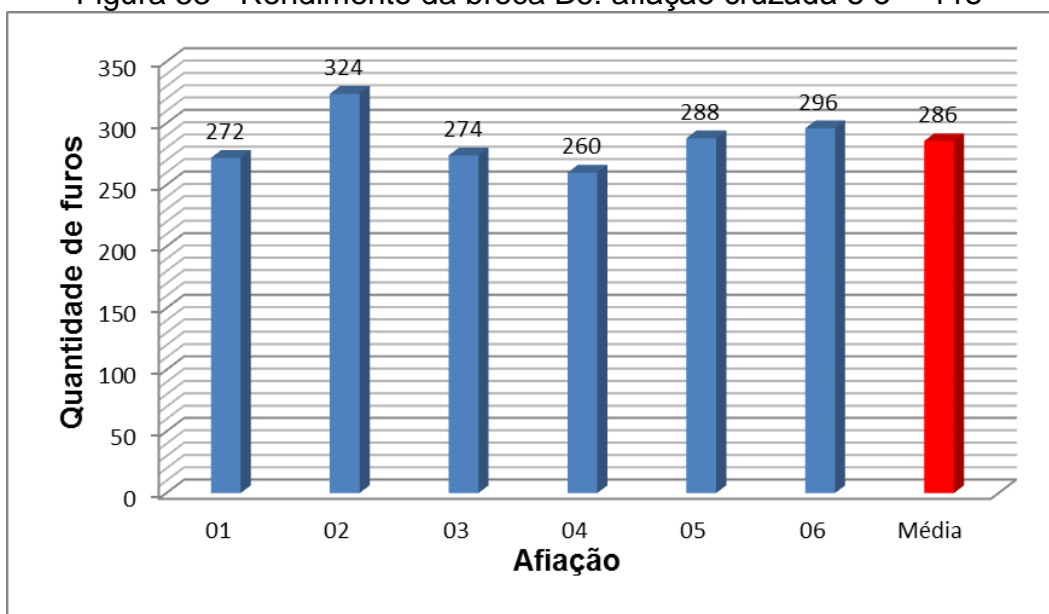


Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

4.7 BROCA B6 - AFIAÇÃO CRUZADA COM $\sigma = 118^\circ$

A broca B6 foi afiada seis vezes na máquina afiadora controlando o ângulo da ponta, onde foi realizada a afiação do tipo afiação cruzada e mantido um ângulo de ponta $\sigma = 118^\circ$. A Figura 53 mostra o rendimento da broca nesta condição.

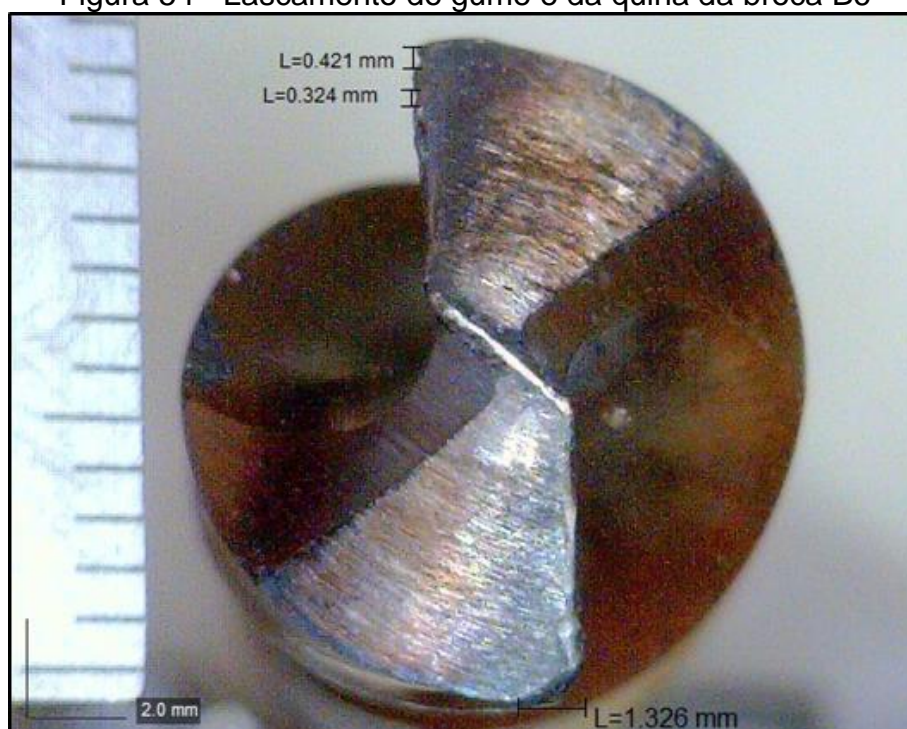
Figura 53 - Rendimento da broca B6: afiação cruzada e $\sigma = 118^\circ$



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

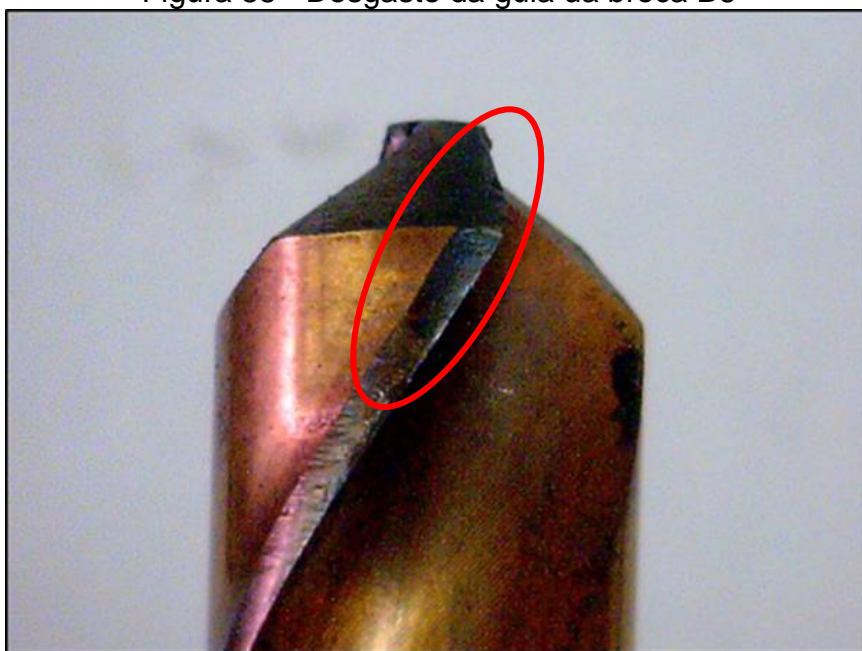
Na questão do desgaste, a broca B6 também foi avaliada no 100º furo. As Figuras 54 e 55 mostram os desgastes observados neste tipo de afiação. Na broca B6 foram medidos lascamentos no gume principal de 0,421mm e 0,324mm, bem como um lascamento na quina da broca de 1,326mm. Já na Figura 57, nota-se pequenos lascamentos ao longo da guia da broca.

Figura 54 - Lascamento do gume e da quina da broca B6



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Figura 55 - Desgaste da guia da broca B6



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

A Tabela 15 mostra o resultado das medições dos furos e o valor médio encontrado. Já a Figura 56 mostra os furos processados pela broca B6.

Tabela 15 - Variação dimensional dos furos da broca B6

Furo	Medição 1 (mm)	Medição 2 (mm)	Medição 3 (mm)	Média (mm)
1	13,60	13,50	13,36	13,63
2	14,10	13,70	13,40	
3	13,85	13,70	13,50	

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Figura 56 - Furos processados pela broca B6



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Quanto à rebarba gerada, a broca B6 apresentou um resultado bem semelhante a B1 e B4, isso pelo motivo de que estas três brocas possuem o mesmo ângulo de ponta. A Figura 57 mostra a rebarba gerada pela broca B6.

Figura 57 - Rebarba da broca B6: afiação cruzada e $\sigma = 118^\circ$

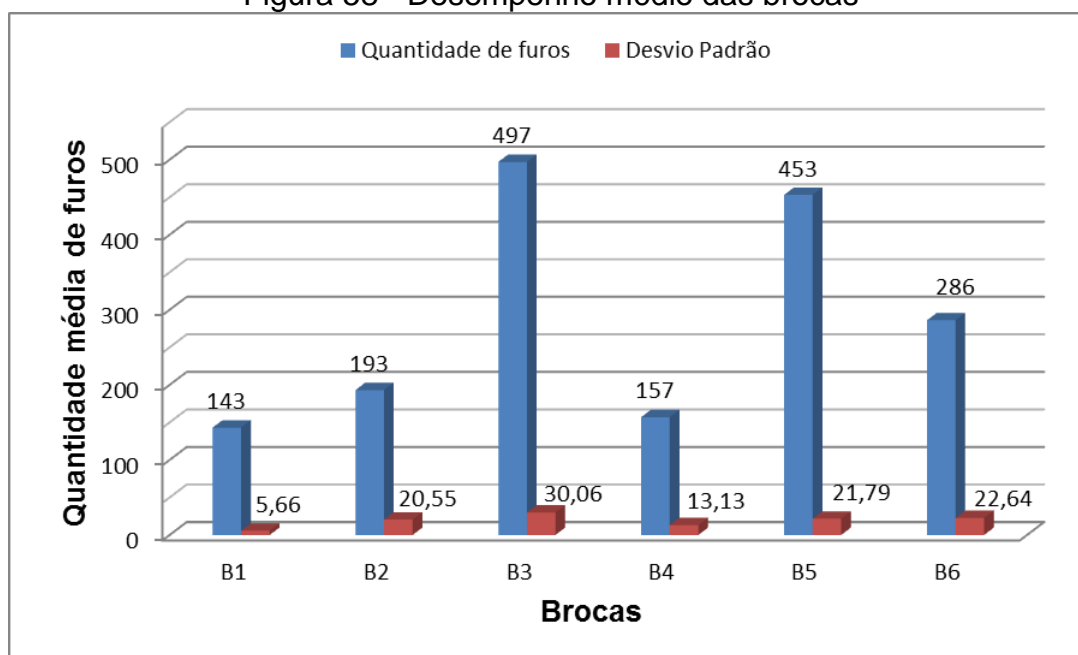


Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

4.8 ANÁLISE COMPARATIVA DAS BROCAS

Após todas as análises, uma comparação foi realizada entre as seis brocas ensaiadas. Inicialmente, foi avaliada a vida útil das brocas. A Figura 58 mostra o desempenho médio de cada broca quanto ao número de furos processados em cada afiação, bem como o desvio padrão encontrado.

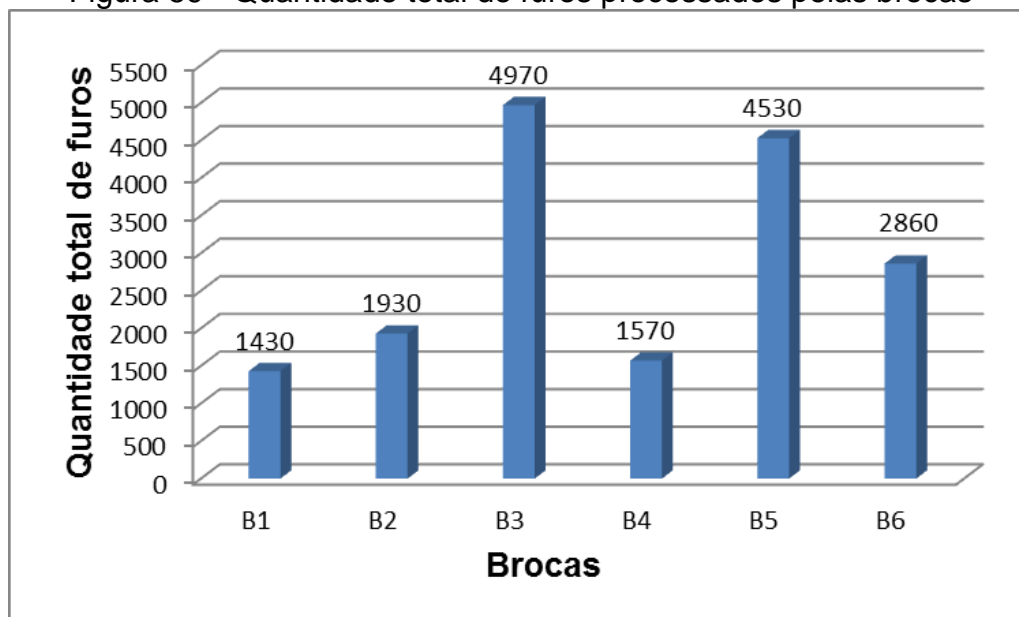
Figura 58 - Desempenho médio das brocas



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Já a Figura 59, mostra a quantidade total de furos processados pelas seis brocas, considerando que cada broca foi afiada dez vezes.

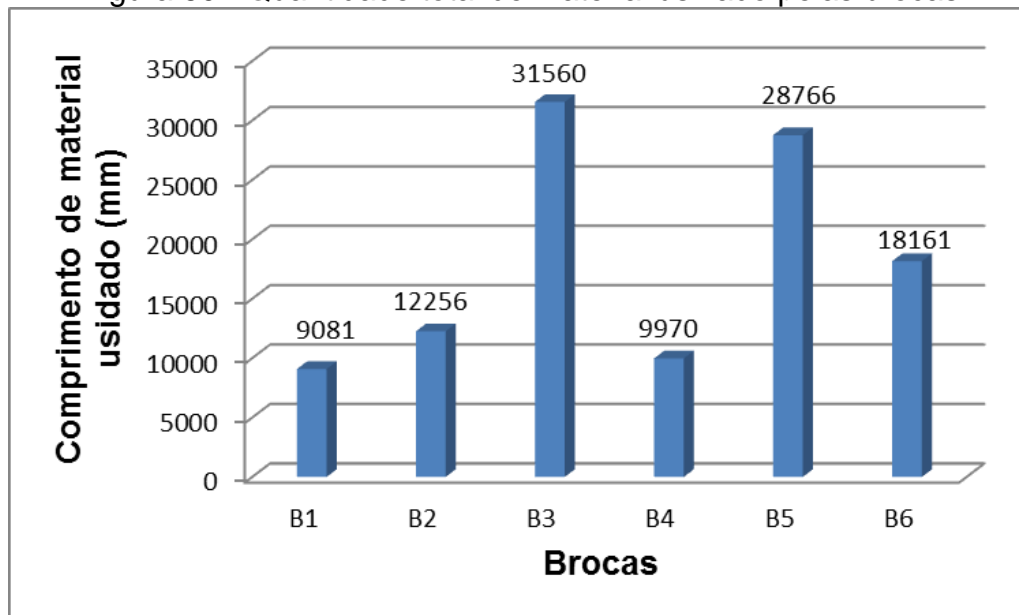
Figura 59 - Quantidade total de furos processados pelas brocas



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Em termos de material usinado, a Figura 60 mostra o comprimento total de material usinado por cada broca ensaiada.

Figura 60 - Quantidade total de material usinado pelas brocas



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Pode-se notar que as brocas B3 e B5 (afiação cruzada e ângulo de ponta $\sigma = 140^\circ$) tiveram o maior rendimento dentre as seis brocas ensaiadas.

Pode-se dizer que o motivo pelo qual as brocas B3 e B5 tiveram um maior rendimento, em termos de números de furos processados e, conseqüentemente,

maior quantidade de material usinado em relação às demais brocas ensaiadas, se deve a dois principais fatores: o ângulo de ponta e o tipo de afiação.

O ângulo de ponta de 140° , como já relacionado anteriormente, aumenta a resistência mecânica e a dissipação de calor, em relação ao ângulo de ponta de 118° , podendo assim aumentar a vida útil da ferramenta. (STEMMER, 2005).

Quanto ao tipo de afiação realizada, a afiação cruzada reduz significativamente a força de avanço necessária para realizar o corte, além de facilitar o escoamento do cavaco, diminuindo assim o desgaste e aumentando a vida útil da broca (STEMMER, 2005), tendo em vista que o critério utilizado como final de vida útil da broca era o aumento da força de avanço para realizar o corte.

Quanto às rebarbas geradas, pode-se perceber que as brocas B1, B4 e B5, as quais foram afiadas com ângulos de ponta de 118° , produziram uma rebarba maior em relação às brocas B2, B3 e B5, as quais foram afiadas com ângulo de ponta de 140° . As Figuras 61 e 62 mostram mais detalhadamente as rebarbas geradas pelas brocas com ângulo de ponta de 118° e 140° , respectivamente.

Figura 61 - Rebarba da broca com $\sigma = 118^\circ$



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Figura 62 - Rebarba da broca com $\sigma = 140^\circ$



Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

A Tabela 16 mostra a comparação entre o tamanho das rebarbas geradas por estes dois ângulos de ponta.

Tabela 16 - Medição da altura das rebarbas

Broca	Ângulo de ponta (°)	Altura da rebarba			Altura média (mm)
		Furo 1	Furo 2	Furo 3	
B1, B4, B6	118°	3	3,3	3,3	3,20
B2, B3, B5	140°	0,8	0,75	0,7	0,75

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Esta variação da altura da rebarba, se deve ao fato de que para ângulos de ponta maiores, neste caso 140°, as rebarbas são menores em relação à ângulos menores, como o ângulo de 118°. Para ângulos maiores, ou mais obtusos, as arestas de corte no diâmetro total da broca começam a cortar antes que a ponta da broca tenha atravessado o material (SKF, 1987).

Outro ponto de comparação é o tempo necessário para se retirar as rebarbas dos perfis após o processamento dos furos. A Tabela 17 mostra um comparativo entre os tempos cronometrados para a retirada das rebarbas em um perfil com 98 furos.

Tabela 17 - Tempo de retirada das rebarbas

Broca	Ângulo de ponta (°)	Tempo (seg)	Tempo médio (seg)
B1	118°	202	223
B4		249	
B6		218	
B2	140°	93	83
B3		70	
B5		85	

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Quanto à variação dimensional dos furos processados pelas seis brocas, a Tabela 18 traz um comparativo entre as mesmas.

Tabela 18 - Variação dimensional dos furos

Broca	Ângulo de ponta (°)	Tipo de afiação	Diâmetro médio dos furos (mm)
B1	118°	Redução do gume transversal	13,63
B2	140°	Redução do gume transversal	13,36
B3	140°	Afiação cruzada	13,59
B4	118°	Redução do gume transversal	13,48
B5	140°	Afiação cruzada	13,63
B6	118°	Afiação cruzada	13,63

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

4.9 ANÁLISE DE CUSTOS

Levando em consideração, que um dos objetivos deste projeto é a redução dos custos de fabricação, uma análise simplificada foi realizada a fim de avaliar a redução de custo obtida com a nova proposta.

A análise consiste em verificar quantos furos são processados em média em cada afiação, considerando que cada broca é afiada dez vezes.

Posteriormente, relacionar a quantidade de furos com o preço de aquisição da broca e, então, obter o custo por furo processado na usinagem dos perfis. A Tabela 19 mostra estes valores.

Tabela 19 - Custo dos furos no processo

Broca	Nº de afiações	Média de furos por afiação	Total de furos	Valor por furo
B1	10	143	1430	R\$ 0,0677
B2	10	193	1930	R\$ 0,0502
B3	10	497	4970	R\$ 0,0195
B4	10	157	1570	R\$ 0,0617
B5	10	453	4530	R\$ 0,0214
B6	10	286	2860	R\$ 0,0338

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Levando em consideração que o custo de aquisição de uma broca helicoidal de aço-rápido revestida com TiN e, com 13,5mm de diâmetro, é de R\$96,80 e, estimando, também, uma quantidade de dez afiações para cada broca, o menor custo para o processo se dá com a broca B3, a qual, tem um custo de R\$0,0195 por furo processado.

Esta análise está relacionada apenas com o custo da broca, não estão sendo relacionados neste projeto reduções de custo em razão da diminuição do número de afiações realizadas, nem o tempo necessário do operador para realizar tal tarefa.

5 CONCLUSÃO

Após as análises das seis brocas, algumas considerações podem ser feitas quanto aos itens avaliados. No quesito do desgaste da parte cortante da broca, foram observados desgastes do tipo: desgaste de flanco, lascamentos ao longo do gume principal, aquecimento da ponta da broca e lascamentos nas guias da broca.

Não foi possível perceber grandes diferenças entre os desgastes observados nas seis brocas ensaiadas. Uma das principais limitações para a implantação de melhorias, a fim de reduzir os desgastes das brocas, está relacionado à excessiva vibração do equipamento de furação, a qual não foi medida, mas, pode ser nitidamente percebida.

Outro ponto que está relacionado aos desgastes das brocas, é o fato de não se ter, atualmente, um estudo da quantidade adequada de fluido lubrificante utilizado no processo, podendo assim, esta quantidade ser insuficiente para a condição de furação atual.

Na avaliação da variação dimensional, pode-se concluir que todos os furos processados pelas seis brocas, apresentaram valores médios dentro dos padrões de tolerância solicitados na norma DIN 7168.

Quanto às rebarbas geradas, as brocas B1, B4 e B6, com ângulos de ponta de 118° , apresentaram rebarbas maiores, dificultando assim o processo posterior de retirada, onde, o tempo médio cronometrado para a retirada das rebarbas ficou em 223 segundos.

Já as rebarbas geradas pelas brocas B2, B3 e B5, com ângulo de ponta de 140° , foram mais finas, o que facilitou a retirada das mesmas. O tempo médio cronometrado para a retirada das rebarbas foi de 83 segundos.

Portanto, o tempo médio de retirada das rebarbas dos furos processados pelas brocas com ângulo de ponta de 118° , foi 168% maior em relação às brocas com ângulo de ponta de 140° , concluindo assim, que o ângulo de ponta mais indicado para este, em termos de geração de rebarbas, é o ângulo de 140° .

Quanto ao principal item avaliado neste projeto, que foi a quantidade de furos processados, as brocas B3 e B5 apresentaram os melhores rendimentos dentre todas as seis brocas ensaiadas.

A broca B3, por exemplo, apresentou um desempenho de 247% superior ao da broca B1, a qual teve o menor desempenho em termos de quantidade de furos

processados. Com a broca B1 foram processados 143 furos, enquanto que, com a B3, foram processados 497 furos.

Considerando que a broca B3 gerou um custo de R\$ 0,0195 por furo processado, em relação ao custo de R\$ 0,0677 por furo da broca B1, obtêm-se uma redução no custo da fabricação de 247%, analisando somente o custo direto entre o preço de aquisição das brocas, e a quantidade de furos processados por broca.

Deste modo, conclui-se que, para o processo de furação atual com brocas helicoidais de aço-rápido revestidas, o tipo de afiação “afiação cruzada”, e o ângulo de ponta de 140°, são os que apresentam o melhor desempenho e, portanto, a melhor relação custo – benefício na usinagem dos perfis U.

O procedimento interno IT-CA-331 foi alterado, relacionando este novo método de afiação das brocas, bem como, o novo ângulo de ponta a ser aplicado, conforme verificado no Anexo 04.

Como sugestão para futuros projetos, pode-se relacionar:

- a) avaliação do rendimento das brocas com ângulo de ponta de 140° revestidas;
- b) avaliação de novos materiais para as brocas;
- c) estudo sobre a quantidade de fluido lubrificante utilizado no processo;
- d) estudo com diferentes geometrias de brocas;
- e) estudo com diferentes tipos de afiação das brocas; e
- f) modificação e modernização do processo atual de furação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6656**: Bobinas e chapas laminadas a quente de aço acalmado com características especiais de propriedades mecânicas, conformabilidade e soldabilidade – especificação. Rio de Janeiro, 2008.

CATÁLOGO CSN. **Laminados a quente**. Companhia Siderúrgica Nacional. Disponível em: <http://www.csn.com.br/irj/go/km/docs/csn_documentos/CSN/CATALOGO%20LQ.pdf>. Acesso em: 13. set. 2014.

CASTILLO, William Jefferson González. **Furação de ferro fundido cinzento GC 25 com brocas de metal-duro com canais retos**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis, 2005

CAVALCANTE, Fabrício José Nóbrega. **Análise de utilização de broca escalonada de canal reto no processo de furação em uma liga de alumínio utilizada na indústria automotiva**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2010.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 7168**: General tolerances for linear and angular dimensions and geometrical tolerances. Berlin, 1991.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 4. ed. São Paulo: Artliber, 2003.

_____. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 5. ed. São Paulo: Artliber, 2006.

_____. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 8. ed. São Paulo: Artliber, 2013.

FÁVARO, Leonardo Almeida. **Análise e pré-otimização do processo de furação dos perfis “U” utilizados na montagem de chassis**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2004.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Blücher, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1302:2002**: Geometrical Product Specifications. Rio de Janeiro, 2002.

KÖNIG, Wilfried. **Tornear, Fresar e Furar**. Traduzida e adaptada por Walter Lindolfo Weingaertner. Florianópolis: 1990. v.1, 421p. Tradução de Fertigungsverfahren: Drehen, Fräsen, Bohren. VDI Verlag, Dusseldorf.

KÖNIG, Wilfried; KLOCKE, Fritz. **Fertigungsverfahren: drehen, fräsen, bohren**. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg, 5 Auflage, Band 1, 1997.

MACHADO, Alisson Rocha; ABRÃO, Alexandre Mendes; COELHO, Reginaldo Teixeira; SILVA, Márcio Baccida. **Teoria da usinagem dos materiais**. 2. ed. rev. São Paulo: Blucher, 2011.

MANUAL TÉCNICO SKF. São Paulo: SKF Ferramentas S.A., 1987.

_____. São Paulo: SKF Ferramentas S.A., 2000.

MOCELLIN, Fabiano. **Avaliação da usinabilidade do ferro fundido vermicular em ensaios de furação**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2002.

MOURA, Ricardo Ribeiro; MACHADO, Alisson Rocha. Desempenho das ferramentas reafiadas no fresamento do aço para matrizes VP20ISOF. **Revista Máquinas e Metais**. São Paulo: Aranda, ago. 2014.

SANTOS, Sandro Cardoso; SALES, Wisley Falco. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber, 2007.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte**. 2. ed. rev. e ampl. Florianópolis: UFSC, 1995. 2 v. (Didática)

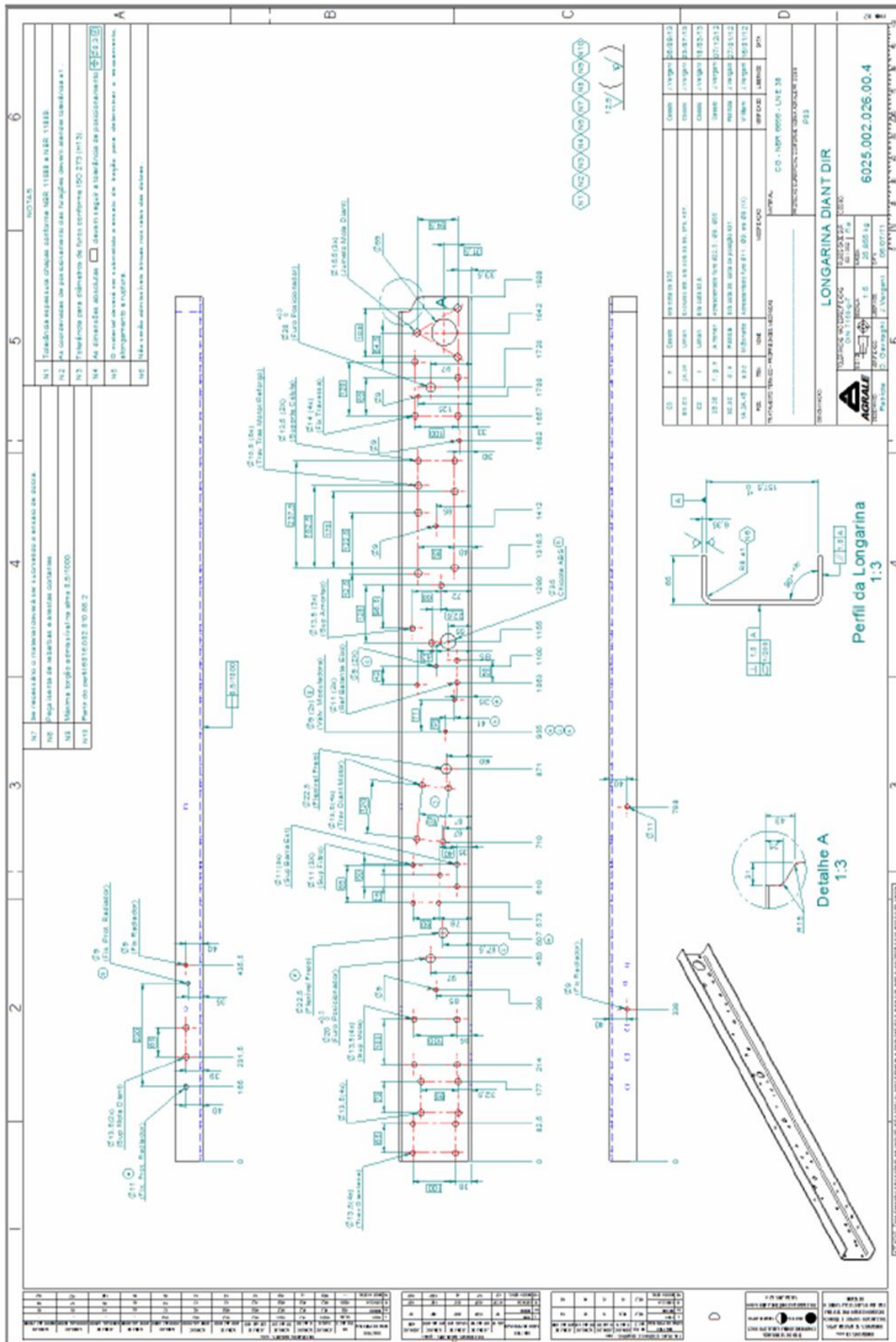
_____. **Ferramentas de corte I**. 6. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 2 v. (Didática)

_____. **Ferramentas de corte I**. 7. ed. Florianópolis: UFSC, 2007.

TRENT, Eduard. M.; WRIGHT, Paul Kenneth. **Metal Cutting**. 4ª ed. Oxford: Editora Butterworths-Heinemann, 2000.

ZEILMANN, Rodrigo Panosso; SANTIN, Ricardo; FINIMUNDI, Andréia Vanessa. **Efeito de diferentes condições de aplicação de fluídos lubri-refrigerantes no desgaste de brocas de aço-rápido**. Universidade de Caxias do Sul. GUS – Grupo de Usinagem. Estudos Tecnológicos, vol. 2. Caxias do Sul, 2006a.

ANEXO 01 – MODELO DE UMA LONGARINA



ANEXO 02 – FLUÍDO LUBRIRREFRIGERANTE

INFORMAÇÕES TÉCNICAS**ECOCOOL MH 6010**

Fluido de corte solúvel em água, isento de óleo mineral

ECOCOOL MH 6010 é uma nova geração de solúveis, isento de óleo mineral e com aditivos especiais que lhe conferem ação de lubrificidade, extrema pressão (EP) além de excelente ação anticorrosiva. **ECOCOOL MH 6010** apresenta as seguintes vantagens:

- Não contém emulgadores, o que o diferencia dos semi-sintéticos, portanto, não emulgando óleos estranhos, mantendo a emulsão mais estável.
- Ideal para todos os tipos de corte de metais ferrosos e não-ferrosos, incluindo retífica e processos onde eram necessários óleos integrais. Pode ser usado em estampagens, retífica de desbaste/acabamento e operações de corte extremamente severas, como por exemplo: brochamento.
- Excelente bioestabilidade frente a presença de microorganismos que causam deterioração, corrosão, mau cheiro, prolongando assim a vida útil da emulsão e consequentemente redução nos efluentes.
- Não possui ação dermatológica nociva aos operadores.
- Isento de nitrito, compostos fenólicos, butilglicol e aditivos à base de zinco, bário, chumbo, cloro, ou enxofre.
- Ecologicamente correto, pois após separação de óleos estranhos e de um tratamento biológico, não conterá substâncias ofensivas ao meio ambiente.

Concentração recomendada:

- Retificação: de 3 - 5% em água
- Usinagem leve: de 5 - 8% em água
- Usinagem severa: >8% em água

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS (Dados Típicos)

ENSAIOS	MÉTODOS	ECOCOOL MH 6010
Densidade a 20°C, g/cm ³	ASTM D 1298	1,075
pH da emulsão a 2% em água*	MR 125	9,10
Aspecto da emulsão a 2% em água*	MR 079	Lig. Turva
Teste Bosch, GG 25, emulsão a 2% em água*	DIN 51 360-2	0
Estabilidade da emulsão 2% em água (mín. 15 h)*	MR 015	Estável
Estabilidade do produto a 40/4°C (mn. 15 h)	MR 017	Estável
Fator de refração	MR 044	1,3
Código do produto: 30972		

As informações fornecidas objetivam apenas orientar os interessados. Não assumimos responsabilidade pelo uso incorreto das mesmas.

FUCHS DO BRASIL S.A.

Via João de Góes, Km 1,214

Jandira – SP – Brasil

06612-000


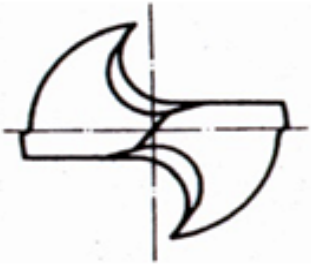
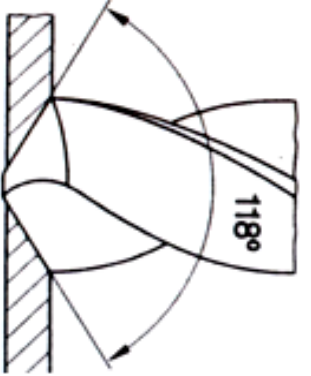
Fone: (11) 4789-2311

Fax: (11) 4789-2670


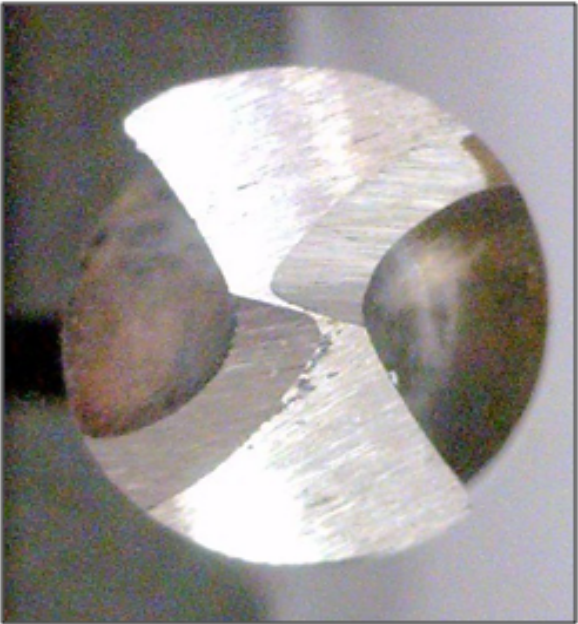
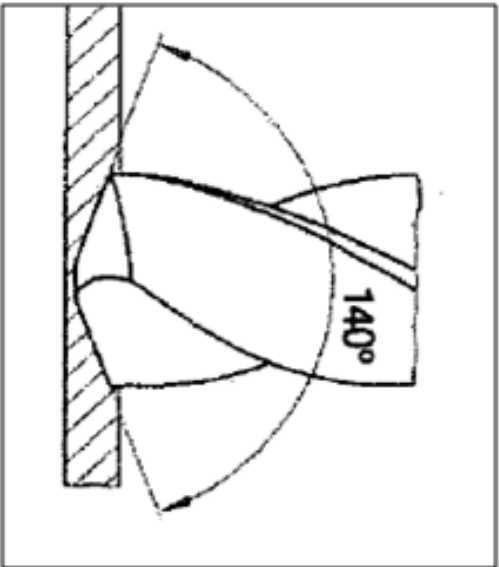
E-mail: fuchsbr@uol.com.br

Site: www.fuchslubrificantes.com.br

ANEXO 03 – INSTRUÇÃO DE TRABALHO IT-CA-331

		<h2 style="margin: 0;">INSTRUÇÃO DE TRABALHO</h2>		Nro. IT-CA-331 Folha: 01 DE 01	
Denominação: Processo de afiação das brocas			Produto: TODOS PRODUTOS		
Descrição:					
<h3>PROCESSO DE AFIAÇÃO DAS BROCAS</h3>					
<ul style="list-style-type: none"> - A afiação nas brocas deve ser realizada quando o operador perceber um aumento na força de avanço para realizar a furração; - O tipo de afiação realizada nas brocas é a “Redução da aresta transversal de corte”, ver figura ao lado; - O ângulo de ponta deve ser de 118°+/-5°. 					
					
		Afiação			
					
		Ângulo de ponta			
Data:	04/10/2009	Emitente:	Diego Dias	Aprovação:	
OBS:			NÃO ASSINAR NA FALTA DO CARIMBO		Distribuição: Conforme MOD.1147
					MOD.1 – 1069/1

ANEXO 04 – INSTRUÇÃO DE TRABALHO IT-CA-331 ALTERADA

		INSTRUÇÃO DE TRABALHO		Nro. IT-CA-331 Folha: 01 DE 01	
Denominação: PROCESSO DE AFIÇÃO DAS BROCAS			Produto: TODOS		
AFIÇÃO DAS BROCAS					
<p>Afiar as brocas executando a afiação do tipo "Afição cruzada", onde deve-se executar um rebaixo nos flancos da broca, conforme figura 1</p>					
			<p>Deve-se manter um ângulo de ponta de $140^{\circ} \pm 5^{\circ}$, conforme figura 02.</p> <p>Controlar este ângulo com o auxílio de um transferidor</p>		
<p>Figura 1 – Afição cruzada</p>			<p>Figura 2 – Ângulo de ponta</p>		
					
Data:	11/11/2014	Emitente:	Jackson Schmitt	Aprovação:	
OBS:	NÃO ASSINAR NA FALTA		DO CARIMBO		Distribuição: Conforme MOD.1147
					MOD.1 – 1069/1