

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DARIO JOSÉ ALVES**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE  
CONDICIONADOR METÁLICO EM PROCESSO DE ALARGAMENTO**

**SÃO PAULO**

**2014**

**DARIO JOSÉ ALVES**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE  
CONDICIONADOR METÁLICO EM PROCESSO DE ALARGAMENTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção da Universidade  
Nove de Julho – UNINOVE como requisito  
para a obtenção do título de Mestre em  
Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Elesandro Antonio  
Baptista

SÃO PAULO

2014

Alves, Dario José.

Análise da viabilidade técnica e econômica da aplicação de condicionador metálico em processo de alargamento. / Dario José Alves 2014.

69 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2014.

Orientador: Prof. Dr. Elesandro Antonio Baptista.

1. Condicionamento metálico. 2. Viabilidade econômica. 3. Processos de fabricação. 4. Alargamento.

I. Baptista, Elesandro Antonio.

II. Título

CDU 658.5

São Paulo, 29 de agosto de 2014.

TERMO DE APROVAÇÃO

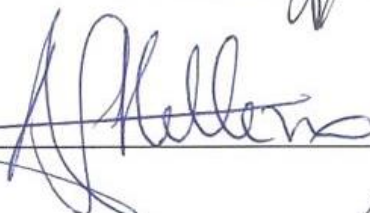
Aluno: Dario José Alves

Título da Dissertação: ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE  
CONDICIONADOR METÁLICO EM PROCESSO DE ALARGAMENTO.

Presidente: PROF. DR. ELESANDRO ANTONIO BAPTISTA



Membro: PROF. DR. ANDRÉ LUÍS HELLENO



Membro: PROF. DR. MILTON VIEIRA JUNIOR



## DEDICATÓRIA

À minha mãe Vilma, meu filho Talles,  
minhas irmãs Ana Lúcia e Ana Maria,  
meus sobrinhos Caio e Lucca  
e minha namorada Claudia.

## **AGRADECIMENTOS**

- ao professor Dr. Elesandro Antonio Baptista, pela oportunidade de ter trabalhado ao seu lado, pela confiança e profissionalismo como professor e orientador, cujo incentivo e motivação em vários momentos no decorrer deste trabalho foram imprescindíveis;
- à CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa CAPES - Prosup;
- aos amigos Rafael e Tolentino, professores da Escola Senai “Mariano Ferraz”, pelo apoio nas usinagens;
- à Universidade Nove de Julho pela oportunidade de realizar este curso de pós-graduação;

## RESUMO

A operação de alargamento em pequenos diâmetros tem uma vasta aplicação na indústria, sendo utilizada nas mais diversas peças, em diferentes tipos de materiais, produzindo furos com alta qualidade e com um baixo custo de produção. No decorrer dos anos foram poucos os avanços tecnológicos obtidos em relação às demais operações de usinagem. Entre os avanços recentes é possível citar a utilização do metal duro como material de construção para alargadores e algumas alterações em sua geometria do corte. O objetivo deste trabalho é investigar e avaliar a viabilidade técnica e econômica da operação de alargamento com alargadores de aço rápido após a aplicação de um condicionador metálico, cuja principal função é reduzir o atrito entre os metais, e também avaliar a relação custo x benefício com o incremento desta aplicação. No decorrer dos experimentos foi observado o desgaste de vinte e quatro alargadores submetidos à usinagem em condições controladas. Para isto foram analisadas duas condições de trabalho, sendo a primeira com doze alargadores em condição normal e a segunda com doze alargadores que receberam a aplicação do condicionador metálico. A metodologia adotada para a investigação dos resultados foi a Pesquisa Experimental. Os resultados obtidos demonstram aumento da vida na operação de alargamento, redução dos custos produtivos e uma relação custo x benefício superior quando utilizado o condicionador metálico.

**Palavras-Chave:** condicionamento metálico; viabilidade econômica; processos de fabricação; alargamento.

## ABSTRACT

Operation of small diameter reaming has a wide application in industry, being used in various parts in various types of materials, producing holes with high quality and with a low production cost. Over the years there were few technological advances compared to other machining operations. Among the recent advances is possible to cite the use of hard metal as a building material for reamers and changes in cutting geometry. The objective of this work is to investigate and evaluate the technical and economic feasibility of the extension with reamers HSS - High Speed Steel after applying a metal conditioner whose main function is to reduce friction between metals and also evaluate the cost-benefit ratio with increasing this application. Wear twenty-four reamers subjected to milling under controlled conditions was observed. For this work two conditions were analyzed, the first twelve reamers in normal condition and the second with twelve reamers receiving the application of metal conditioner being. The methodology adopted for the research results was the Experimental Research. The results reveal an increase in the operating life of reaming, reduction of production costs and a higher cost-benefit when used metallic conditioner relationship.

**Keywords:** machining; economic viability; manufacturing processes; reaming.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Alargador para máquina.....	2
Figura 2 – Alargador em operação eliminando o sobremetal. ....	7
Figura 3 - Alargador para máquina com haste cônica. ....	7
Figura 4 - Alargador manual.....	8
Figura 5 - Desandador montado no alargador manual.....	8
Figura 6 - Terminologia doalargador para máquina. ....	9
Figura 7 - Alargadores para máquina e de uso manual. ....	10
Figura 8 - Diferença de arestas nos alargadores. ....	11
Figura 9 - Sentido de corte do alargador. ....	12
Figura 10 - Parâmetros de corte no alargamento. ....	14
Figura 11 - Tipos de desgaste.....	16
Figura 12 - Desgaste de flanco e de cratera. ....	17
Figura 13 - Centro de usinagem utilizado no experimento. ....	25
Figura 14 - Especificações do sistema de fixação.....	26
Figura 15 - Corpo de prova (aço ANSI 4340). ....	26
Figura 16 - Disposição dos furos no corpo de prova. ....	27
Figura 17 - Alargador para máquina.....	28
Figura 18 - Calibrador tampão PNP para furos 8H7.....	29
Figura 19 - Micrometro interno de 3 contatos.....	30
Figura 20 - Estereoscópio. ....	30

Figura 21 - Valores do desgaste das arestas de corte do alargador 200SB1 .....	36
Figura 22 - Evolução do desgaste das arestas. ....	38
Figura 23 - Evolução do desgaste das arestas. ....	39
Figura 24 - Comparação entre as médias dos desgastes. ....	40
Figura 25 - Desgaste das arestas de corte dos alargadores 2ª bateria.....	45

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Características técnicas da máquina.....	25
Quadro 2 - Percentual dos componentes químicos do aço ANSI 4340.....	27
Quadro 3 - Broca utilizada para marcar a posição dos furos no corpo de prova.....	27
Quadro 4 - Especificação da broca utilizada no pré-furo.....	28
Quadro 5 - Dados do alargador.....	29
Quadro 6 - Identificação dos alargadores. ....	33

**LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1 - Equação da Reta .....	22
Equação 2 - Equação do erro quadrático.....	22
Equação 3 - Equação do coeficiente angular.....	23
Equação 4 - Equação do coeficiente linear.....	23
Equação 5 - Equação do coeficiente angular (resolução).....	42
Equação 6 - Equação do coeficiente linear (resolução).....	42
Equação 7 - Equação da Reta (com os coeficientes).....	42
Equação 8 - Equação da reta (resolução).....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos desgastes das arestas sem o banho do condicionador ..	36
Tabela 2 - Média das médias dos desgastes das arestas sem o banho por quantidade de furos.....	37
Tabela 3 - Valores dos desgastes das arestas com o banho do condicionador.....	39
Tabela 4 - Média das médias dos desgastes por quantidade de furos. ....	39
Tabela 5 - Diferença dos valores de desgaste. ....	41
Tabela 6 - Somatórias dos valores de furos e desgastes.....	42
Tabela 7 – Redução dos custos considerando a quantidade de furos projetados. ...	44
Tabela 8 - Quantidade de furos obtidos com 4 alargadores até o fim da vida útil. ....	46
Tabela 9 - Redução dos custos considerando a média da quantidade de furos reais. ....	47

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Justificativas.....	2
1.2. Problema de pesquisa.....	3
1.3. Hipóteses da pesquisa .....	3
1.4. Objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo geral.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Estrutura do trabalho.....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1. Alargamento.....	6
2.2. Alargadores.....	7
2.2.1. Alargadores manuais.....	8
2.2.2. Alargadores para máquina .....	9
2.3. Particularidades do processo de alargamento com alargador .....	10
2.4. Classificação dos alargadores .....	11
2.5. Parâmetros de corte no alargamento .....	13
2.6. Desgaste de ferramentas de corte .....	15
2.6.1. Desgaste de flanco e de cratera .....	17
2.6.2. Critérios de fim de vida da ferramenta.....	18
2.7. Fluido de corte na operação de alargamento .....	20
2.8. Condicionadores metálicos .....	20
2.9. Método dos mínimos quadrados .....	22
3. MÉTODO DE PESQUISA.....	24
3.1. Materiais e métodos.....	25
3.2. Método .....	30

4. RESULTADOS .....	36
4.1. Aplicação do método dos mínimos quadrados.....	41
4.2. Levantamento dos custos do alargamento.....	43
4.3. Segunda Bateria de Testes: determinação do fim de vida do alargador .....	44
4.4. Segunda Bateria de Testes: Levantamento de custos .....	46
5. CONCLUSÕES.....	48
5.1. Propostas para trabalhos futuros .....	49
6. REFERÊNCIAS .....	50

## 1. INTRODUÇÃO

A competitividade entre as empresas de manufatura na busca da redução dos custos de fabricação e aumento da produtividade forçam as mesmas a uma busca contínua por novas formas de produzir, de tal forma que reduzam seus custos e prazos de entrega que são fatores fortemente influenciados pela gestão das operações e da tecnologia empregada (SHARMA et al, 2009; SILVA et al, 2004).

Entre os processos de fabricação, uma das operações mais realizadas na indústria de manufatura é a furação que normalmente é desenvolvida com brocas helicoidais, devido o seu baixo custo e versatilidade. No entanto por ser uma operação de desbaste promove largas faixas de tolerâncias dimensionais que variam entre ISO IT11 a ISO IT14 (ROSA, 2012).

Quando é necessário furos com maior exatidão geométrica e de forma empregam-se outras operações de usinagem consideradas como de acabamento, entre elas destacam-se o mandrilamento, o brunimento e o alargamento, que são operações que exigem inicialmente um pré-furo como desbaste. Tal necessidade justifica-se devido ao baixo volume de cavaco removido. Nestas operações é possível estabelecer faixas de tolerâncias que variam entre ISO IT05 A ISO IT12 (LIMA Jr, 2009).

Furos com exatidão são geralmente utilizados em alojamentos de punções de corte em ferramentaria, elementos de fixação e localização tais como pinos centralizadores, guias de válvulas em motores de combustão interna, entre outras aplicações. (ALMEIDA, 2008).

A operação escolhida para o estudo deste trabalho é o alargamento que é uma operação de usinagem na qual uma ferramenta rotativa (alargador), com geometria especial, remove uma pequena quantidade de material no furo conferindo a este um acabamento superficial superior, assim como, sua tolerância dimensional e geométrica (METALS HANDBOOK, 1989)



O alargamento é um tipo de furação que utiliza uma ferramenta de alargar que ao desenvolver os movimentos de corte produz pequenas espessuras de cavacos e criando superfícies com alta qualidade dimensional e de forma (YAMADA, 2010).

A Figura 1 apresenta um alargador típico utilizado em máquinas.

Figura 1 - Alargador para máquina.



Fonte: Macec, 2012

A aresta de corte principal está localizada no topo do alargador, que percorre toda extensão do furo removendo o sobremetal. A aresta de corte secundária está localizada no corpo do alargador, desta forma entra em contato com as paredes internas do furo servindo como guia e calibrando o diâmetro final (ROSA, 2012).

Após a adição de um determinado fluido como um condicionador metálico nas arestas de corte principais do alargador foi observado o seu desempenho e assim foi realizado a comparação com a mesma ferramenta sem o condicionador. Os resultados obtidos foram analisados no intuito de avaliar a viabilidade econômica por intermédio de uma relação de custo x benefício.

### **1.1. Justificativas**

Reduzir os custos de usinagem.

A melhoria do acabamento das paredes do furo.

Muitos trabalhos avaliam a melhoria do desempenho dos alargadores considerando o material de construção do alargador, por exemplo, metal duro, ou então o recobrimento nas áreas de corte oriundas do processo de deposição de elementos químicos como: TiC – carboneto de titânio, TiN – nitreto de titânio, TiCN – carbonitreto de titânio e TiAlN – nitreto de Alumínio (ALMEIDA, 2008; BORILLE, 2005; PEREIRA, 2010).

Conhecer novas alternativas de baixo custo que possam aperfeiçoar o processo de alargamento para que as condições de corte ideais sejam identificadas.

Durante a pesquisa deste tema foi encontrado apenas um estudo que trata da viabilidade econômica em processos de rosqueamento utilizando machos de roscar com condicionador metálico.

## **1.2. Problema de pesquisa**

A fim de investigar a efetividade na avaliação do custo x benefício na operação de alargamento com alargador de aço rápido para máquina, especificamente na redução do custo unitário da operação de alargamento em função da diminuição do desgaste das arestas de corte do alargador, este trabalho responderá à seguinte questão:

O desempenho dos alargadores é melhorado com a aplicação de um condicionador metálico?

## **1.3. Hipóteses da pesquisa**

Em princípio a resposta provável à questão estabelecida para o presente trabalho irá buscar confirmar a seguinte hipótese:

A aplicação de condicionador metálico nas arestas de corte dos alargadores aumenta a quantidade de furos alargados e tem melhor relação custo x benefício quando comparados aos alargadores sem a adição do referido condicionador.

## **1.4. Objetivos**

Para responder à questão estabelecida e avaliar a hipótese determinada, os seguintes objetivos serão considerados:

### **1.4.1. Objetivo geral**

- Avaliar a viabilidade técnica e econômica na utilização de condicionador metálico em operações de alargamento.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- realizar uma pesquisa bibliográfica com o intuito de identificar estudos correlatos em ferramentas de corte;
- mensurar os desgastes das arestas com e sem o condicionador metálico;
- avaliar a relação custo x benefício para constatar a amplitude do ganho.

## **1.5. Estrutura do trabalho**

No capítulo 1 é apresentada uma breve introdução sobre o tema, mostrando a importância da operação de alargamento nas indústrias manufatureiras e as contribuições relativas ao trabalho proposto. Também é abordada a problemática observada e a proposta para solução mediante a hipótese. Os objetivos e as justificativas também são apresentados neste capítulo.

No capítulo 2 é abordada a revisão bibliográfica a respeito dos processos de usinagem assim como suas possíveis análises de viabilidade técnica e econômica, destacando a relação custo x benefício, especialmente, no processo de alargamento com alargadores de aço rápido para máquina. A utilização de condicionador metálico como alternativa de melhoria de desempenho nas operações de usinagem e uma revisão das técnicas de análise estatística dos dados também são apresentados neste capítulo.

No capítulo 3 são descritos os materiais, equipamentos e instrumentos utilizados, assim como a metodologia de pesquisa e o planejamento dos experimentos.

No capítulo 4 é feita a análise dos resultados do trabalho.

No capítulo 5 é apresentado a conclusão deste trabalho.

No final estão descritas as referências bibliográficas utilizadas na elaboração deste trabalho.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica sobre a operação de alargamento, suas particularidades, assim como temas transversais a esta operação para servirem de subsídio na correlação do uso de um condicionador metálico como alternativa de melhoria de desempenho de corte.

### **2.1. Alargamento**

A operação de alargamento é um processo de usinagem secundária com a finalidade de conferir maior exatidão geométrica e de forma melhorando o acabamento das paredes do furo, devido às imperfeições ocasionadas pela afiação inadequada da broca, fixação da peça e instabilidade da máquina ferramenta (METALS HANDBOOK, 1989).

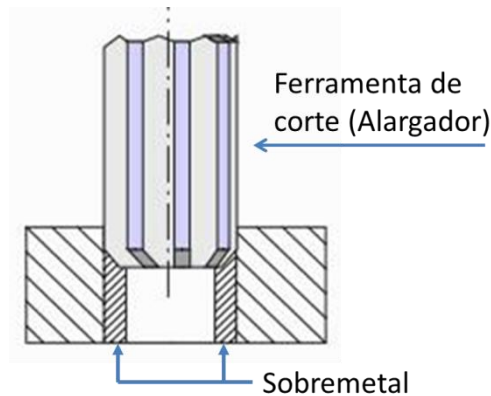
O alargamento tem como objetivo calibrar o furo melhorando o acabamento da superfície desbastada usinada anteriormente por uma broca helicoidal (YAMADA, 2010).

É um processo fabricação mecânico de usinagem destinado a furos cilíndricos ou cônicos com auxílio de ferramenta multicortante. Para tanto a ferramenta ou a peça giram deslocando-se em uma trajetória retilínea ao longo do centro do furo. (LIMA JR, 2009).

O alargamento pode ser desenvolvido manualmente ou em máquinas e é uma operação que exige um furo anterior (pré-furo), com diâmetro ligeiramente inferior ao valor nominal (ROSA, 2012).

A Figura 2 ilustra o alargador removendo o sobremetal na forma de pequenos cavacos, que é a diferença entre o furo usinado pela broca, responsável pelo pré-furo, e a medida acabada, ou seja, usinada pelo alargador.

Figura 2 – Alargador em operação eliminando o sobremetal.



Fonte: Adaptado de Stemmer (1995).

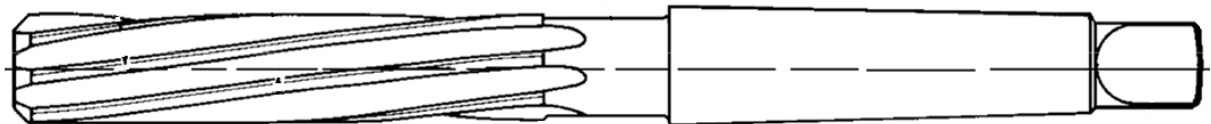
A ferramenta de corte multicortante utilizada para alargar furos é o alargador.

## 2.2. Alargadores

São ferramentas que possuem arestas de corte retas ou helicoidais que formam canais para a saída de cavacos, são utilizados após a furação com broca helicoidal com o intuito de melhorar o acabamento superficial das paredes do furo (METALS HANDBOOK, 1989).

O alargador apresentado na Figura 3 possui haste cônica e são fixados diretamente na árvore principal da máquina sem o auxílio de acessórios.

Figura 3 - Alargador para máquina com haste cônica.



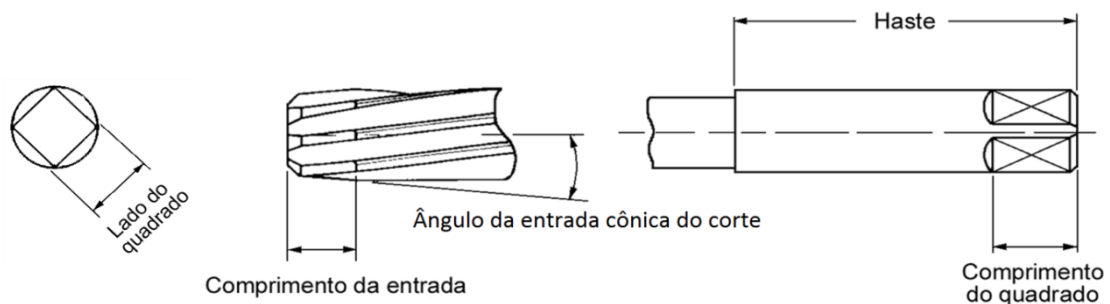
Fonte: Adaptado de Senai (1997).

De forma geral os alargadores são divididos em dois grandes grupos de uso: os manuais e para máquinas.

### 2.2.1. Alargadores manuais

Utilizados como segunda operação na furação de precisão tem como característica principal a conicidade formada na aresta principal, mais longa, e que neste caso é responsável pelo corte. O chanfro de entrada serve apenas como guia durante o corte conforme ilustrado na Figura 4.

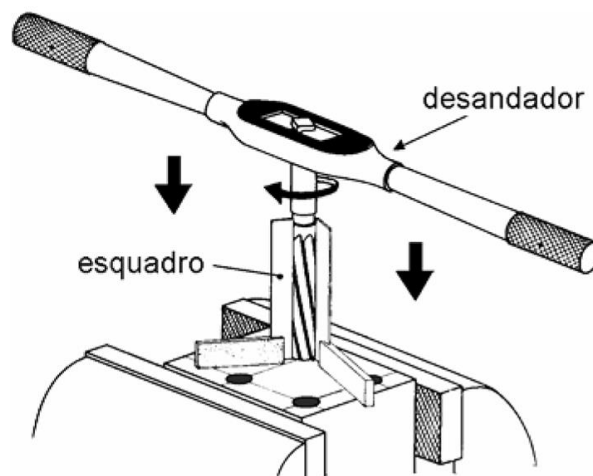
Figura 4 - Alargador manual.



Fonte: Senai (1997).

Como esta ferramenta é de uso manual, é necessária a utilização de um acessório chamado desandador, que é alojado em um quadrado na extremidade da sua haste e é responsável por facilitar o movimento rotatório da ferramenta durante a operação manual. Conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5 - Desandador montado no alargador manual.



Fonte: Senai (1997).

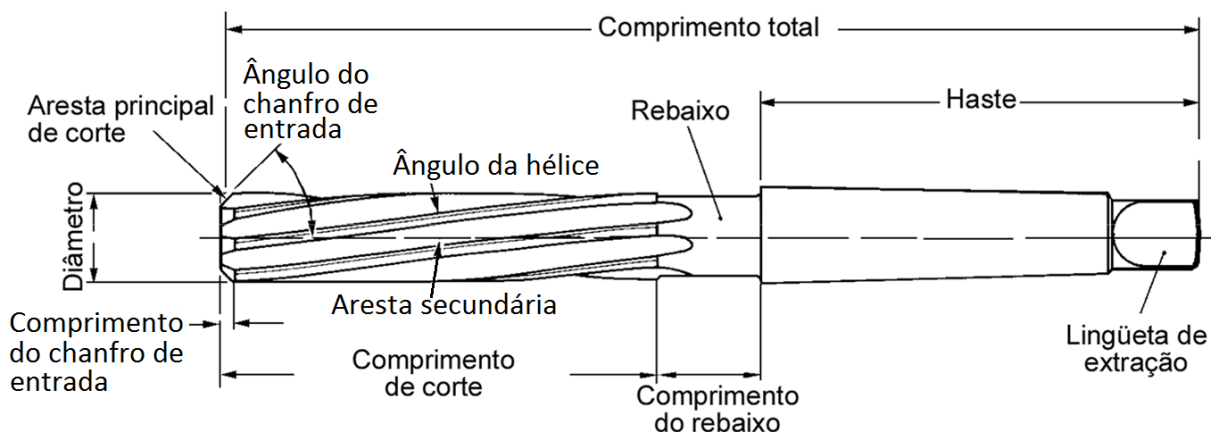
### 2.2.2. Alargadores para máquina

Seu uso é exclusivo em máquinas devido à forma da sua haste, que pode ser cilíndrica ou cônica, e ainda por ser apropriada para a fixação em eixos de máquinas com diversos tipos de pinças e mandris (tipo Weldon, hidromecânicos, hidráulicos e outros) (SANTOS, 2004).

Outra característica deste alargador é que o comprimento do chanfro de entrada da aresta principal é menor em relação aos alargadores manuais, e geralmente formam um ângulo de  $45^\circ$ .

A Figura 6 apresenta o alargador para máquina com a terminologia de suas partes segundo a ABNT ISO 5420 (ABNT, 2010).

Figura 6 - Terminologia do alargador para máquina.

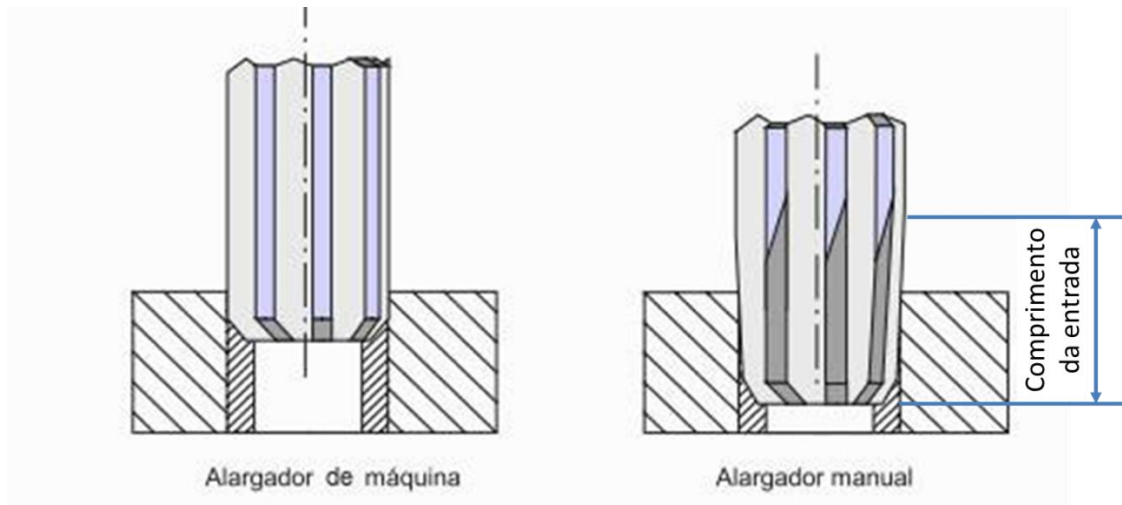


Fonte: NBR ISO 5420:2010.



Pode-se observar na Figura 7 a diferença na forma de remoção do sobremetal.

Figura 7 - Alargadores para máquina e de uso manual.



Fonte: adaptado de Stemmer, 1995.

No alargador para máquina, devido à forma cilíndrica do comprimento de corte, a remoção do sobremetal acontece na aresta principal de corte. No alargador manual o comprimento de entrada é cônico o que facilita a sujeição do alargador no início da operação manual.

### 2.3. Particularidades do processo de alargamento com alargador

De forma geral este processo é desenvolvido em furos com diâmetros de até 32 mm, porém em casos especiais podem chegar até 150 mm, pois diâmetros maiores exigiriam alargadores grandes dificultando sua fixação, nestes casos é recomendado a operação de mandrilamento (METALS HANDBOOK, 1989).

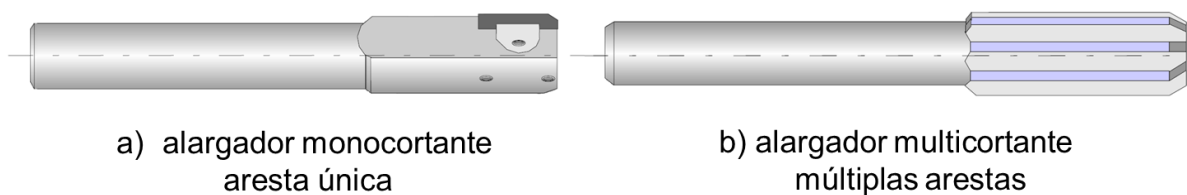
Outra particularidade é o grau de tolerância que é possível atingir com este tipo de ferramenta. O grau de tolerância define a largura dos afastamentos (limite superior e limite inferior da medida do diâmetro furo). Esta característica é denominada por “IT”, que podem ser classificados de IT01 a IT18 e sua correspondência em mm é proporcional ao valor da dimensão (FERREIRA, 2011).

## 2.4. Classificação dos alargadores

Segundo Yamada (2010), os alargadores podem ser classificados da seguinte maneira:

- **número de arestas** – Caracterizam-se como alargadores monocortantes (apenas uma aresta de corte) ou alargadores multicortantes (mais de uma aresta) conforme Figura 8.

Figura 8 - Diferença de arestas nos alargadores.

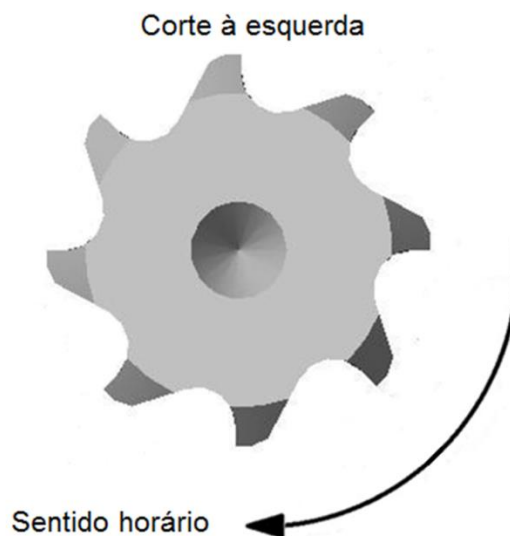


Fonte: adaptado de Stemmer (1995).

- **tipo de operação** – podem ser utilizados para desbaste ou acabamento. No desbaste de furos em estado bruto, quando as peças são oriundas de fundição ou forjamento. O formato do seu corpo é helicoidal variando entre 3 e 4 o número de arestas. No acabamento são utilizados para conferir maior precisão aos furos graças ao maior número de arestas de corte que implicam num menor avanço por dente resultando bom acabamento e precisão dimensional.
- **forma dos canais** – os alargadores podem ter canais retos ou helicoidais. Alargadores com canais retos são mais baratos e recomendados em trabalhos de maior precisão, suas arestas podem ser afiadas com maior facilidade. Alargadores com canais helicoidais são recomendados em furos com corte intermitente, rasgos de chaveta, furos transversais ao furo usinado ou com fendas;
- **sentido de corte** – podem cortar à direita ou à esquerda. O corte à direita, com hélice à esquerda, faz com que o cavaco escoe no sentido de avanço do alargador evitando retorno do cavaco na superfície alargada. O corte com alargadores à direita, com hélice à direita, faz com que o cavaco escoe no

sentido contrário ao do avanço do alargador, danificando a parede do furo e promovendo uma força a favor do avanço do alargador comprometendo a sua fixação na máquina. Este torna-se relevante dependendo do estado das folgas existentes no eixo principal da máquina. Para verificar o sentido de corte observa-se o topo da extremidade de corte, caso o giro de trabalho seja no sentido horário, então este alargador corta à esquerda. Na Figura 9 pode-se observar um alargador com corte à esquerda;

Figura 9 - Sentido de corte do alargador.



Fonte: adaptado de Stemmer, 1995.

- **haste de fixação** – Os alargadores podem ter hastes cônicas ou cilíndricas. A fixação das hastes cilíndricas devem ocorrer por intermédio de acessórios (pinças, mandris e outros). As fixações das hastes cônicas acontecem diretamente no eixo principal da máquina. Dependendo do tamanho do alojamento cônico da máquina, cones tipo morse devem ser utilizados;
- **tipo de uso** – A utilização dos alargadores podem ser para máquina ou manual conforme a Figura 2. Os alargadores manuais possuem em seu corpo uma leve conicidade que chega a um quarto do comprimento total, facilitando a operação de corte diminuindo a instabilidade da operação manual;

- **quanto a regulagem** – Os alargadores podem ser fixos ou reguláveis. O fixo alarga um diâmetro predeterminado. O regulável possui suas arestas ajustáveis de tal forma que é possível, dentro de um limite, alterar o diâmetro solicitado. É conhecido como alargador expansível;
- **forma do furo** – O corpo dos alargadores podem ser cônicos ou paralelo a seleção dependerá do requisito da geometria do furo;

## 2.5. Parâmetros de corte no alargamento

Informações relacionadas à velocidade de corte, avanços e profundidade de corte podem variar entre as literaturas. Estes valores dependem de condições difíceis de serem previstas, por exemplo: geometria da peça, condições da máquina, qualidade superficial desejada, ou seja, cada operação acontece numa situação única (HANNA, 2003).

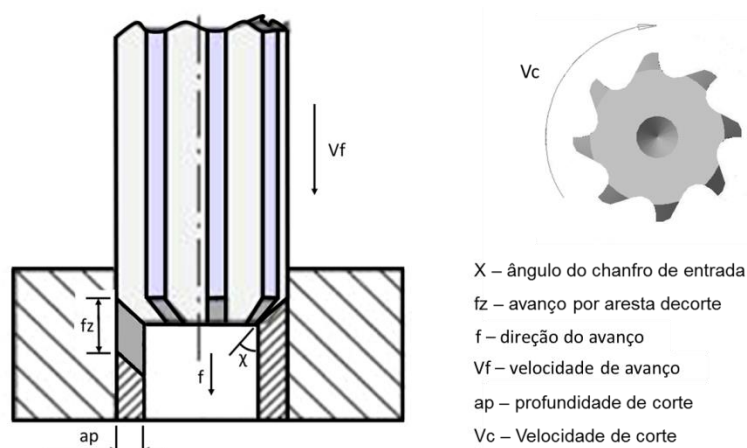
Quanto à profundidade de corte, embora o alargamento seja uma operação de pouca remoção de material, um mínimo deve ser previsto para a formação do cavaco, caso contrário as lâminas do alargador apenas atritarão na superfície do furo causando seu desgaste prematuro (ROSA 2012).

Os alargadores desgastam mais rapidamente que as brocas, devido ao seu perfil geométrico, por isso como referencia inicial utilizamos dois terços da velocidade de corte da broca para os alargadores (METALS HANDBOOK, 1989).

Quando todas as condições de usinagem não são conhecidas deve-se utilizar valores baixos na combinação velocidade de corte e avanço. Ao longo do processo estes valores podem ser aumentados até que sejam notados sinais de vibração, a partir daí, convém manter a velocidade de corte e diminuir o avanço (ROSA, 2012).

A Figura 10 apresenta um alargador para máquina desenvolvendo a operação de alargamento mostrando o movimento de usinagem e os parâmetros de corte.

Figura 10 - Parâmetros de corte no alargamento.



Fonte: Adaptado de Stemmer, 1995.

Os materiais utilizados na fabricação dos alargadores são dos mais diversos, desde aços ao carbono e de baixa liga temperados a durezas superiores a 62 HRC, para alargadores manuais. Para uso em máquinas é comum sua fabricação ser em aço rápido ou metal duro (METALS HANDBOOK, 1989).

Características como tenacidade e resistências à compressão, abrasão e térmica são esperados para este tipo de ferramenta. (YAMADA, 2010).

Os alargadores requerem menor tenacidade do que as brocas, em virtude da carga imposta sobre a ferramenta no alargamento ser normalmente menor do que na furação. Em contrapartida, os alargadores de aço rápido devem ser de elevada dureza (65 HRC ou superior), para se otimizar o acabamento da superfície e a vida da ferramenta. Embora mais caro do que o aço rápido, o metal duro frequentemente oferece uma vida pelo menos dez vezes mais longa, quando se realiza o alargamento de aços com dureza próxima de 260 HV. Para operações de alargamento de aços com dureza superior a 400 HV, os alargadores de metal duro são os mais recomendados (PANGRÁCIO, 2003).

O acabamento do furo alargado depende da dureza da peça, das condições das arestas de corte do alargador, do avanço e da velocidade de corte. O alargamento combinado com a operação de pré-furação, produz um acabamento na faixa de IT6 a IT7 (WEINERT et al, 1998).

Dentro das condições ótimas, é possível se obter superfícies com rugosidade ( $R_a$ ) em torno de 1  $\mu\text{m}$  ou menor, para o ferro fundido nodular GGG40 utilizando ferramentas monocortantes de PCBN – Nitreto de Boro Cúbico Policristalino (SILVA et al, 2001).

## 2.6. Desgaste de ferramentas de corte

É o dano progressivo que envolve a perda de material, a qual ocorre na superfície de um componente como resultado de um movimento relativo a outro componente adjacente. O mesmo se aplica ao desgaste de ferramentas, onde a perda de material da ferramenta de corte ocorre durante a usinagem, resultante da interação entre ferramenta, material da peça e parâmetros de corte. Na prática o desgaste mais medido é o de flanco, sendo utilizado como critério de fim de vida de uma ferramenta (BORILLE, 2005).

Os mecanismos de desgaste podem agir simultaneamente, de maneira que tanto sua origem como o seu efeito dificilmente podem ser identificados entre si (STEMMER, 1995).

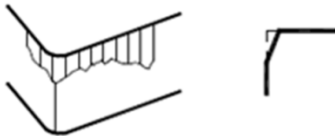
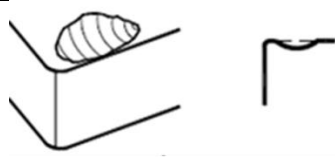

Consideram-se como os principais mecanismos causadores de desgaste:

- **Fadiga térmica:** durante o corte do metal ocorre constantemente o aquecimento e resfriamento na região de corte, além de existirem choques mecânicos no gume. A combinação destes fenômenos pode levar a fissuras, microlascamentos, e a ruptura da ferramenta.
- **Adesão:** este mecanismo ocorre quando duas superfícies estão em contato sujeitas a pressão e altas temperaturas. Com o atrito gerado, algumas partículas aderem à face da ferramenta apresentando alto grau de deformação.
- **Difusão:** consiste na transferência de átomos de uma área de maior para menor concentração atômica. Em ferramentas de metal-duro na usinagem de aço em temperaturas na faixa de 700 a 1300°C, a difusão tende a ocorrer, formando geralmente uma cratera na face da ferramenta.

- **Abrasão mecânica:** a abrasão mecânica ocorre quando partículas duras da superfície do cavaco escorregam em alta pressão e temperatura sobre a face da ferramenta, arrancando pequenas porções do material da ferramenta de corte.
- **Oxidação:** a oxidação ocorre em temperaturas elevadas na presença do ar. Em ferramentas de metal-duro, estas temperaturas estão na faixa entre 700 e 800°C ou mais.
- **Desgaste químico:** o desgaste químico ocorre quando a ferramenta e a peça estão expostas a produtos químicos ativos, os quais freqüentemente estão presentes nos fluidos de corte. É possível que o desgaste eletroquímico ocorra por ação galvânica.

Os mecanismos de desgaste marcam a ferramenta de corte e podem ser classificadas e quantificadas. Os principais tipos de desgaste são descritos na Figura 11.

Figura 11 - Tipos de desgaste.

Tipo de desgaste	Causa
 Desgaste de flanco	O desgaste de flanco é causado principalmente pelo mecanismo de desgaste abrasivo. É normalmente o tipo mais comum de desgaste. O aumento do desgaste de flanco proporciona uma usinagem de baixa qualidade da superfície, imprecisões e o aumento do atrito
 Desgaste de cratera	É causado por mecanismos abrasivos e difusivos de desgaste. A cratera é formada pela remoção de material da ferramenta através da ação de partículas abrasivas duras combinadas com a difusão entre cavaco e ferramenta.
 Entalhe	Principal causa é a oxidação na profundidade de corte somada a altas temperaturas na aresta de corte

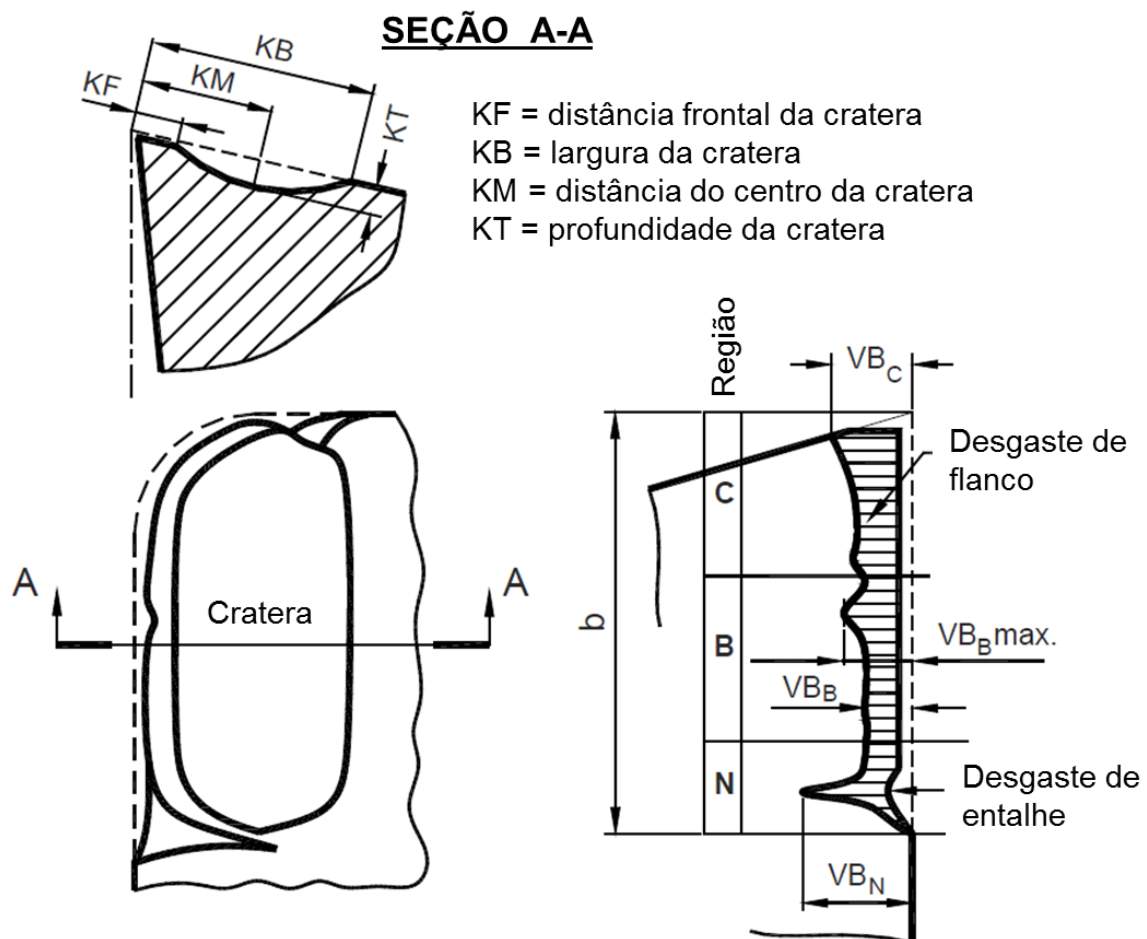
Fonte: Borille (2005).

### 2.6.1. Desgaste de flanco e de cratera

Todos os tipos de desgaste são graduais, porém o desgaste de flanco é o mais medido e monitorado, podendo ser considerado como um dos critérios de fim de vida de uma ferramenta (BORILLE, 2005).

O desgaste de flanco é o mais utilizado no acompanhamento da evolução do desgaste. De acordo com a norma ISO 3685:1993 para as medições de desgaste, toma-se como referência a região desgastada que é dividida, como mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Desgaste de flanco e de cratera.



Fonte: ISO 3685:1993

A região C é a parte curva da aresta de corte no canto da ferramenta.



A região B é a parte reta restante da aresta de corte na zona C.

A região N é o desgaste do tipo entalhe. Estende-se para além da área de contato entre a ferramenta e a peça, de 1 a 2 mm, ao longo da aresta de corte principal.

A largura do desgaste de flanco VBB, é medida na zona B, especificamente no Perpendicular ao plano Ps em relação a aresta de corte principal.

A profundidade da cratera KT, é medida como a distância máxima entre o fundo da cratera e a face original na região B.

O desgaste da ferramenta é comumente medido usando um microscópio ferramenteiro (com sistemas de imagem de vídeo e uma resolução de menos de 0,001 mm) ou instrumento semelhante (ASTAKHOV, 1998).

O desgaste de flanco é causado principalmente pelo mecanismo de desgaste abrasivo. O aumento do desgaste de flanco proporciona uma usinagem de baixa qualidade da superfície, imprecisões e o aumento do atrito. A progressão do desgaste de flanco pode acarretar também um leve aumento no momento torçor do processo. No entanto, a parcela de momento causada por este tipo de desgaste é muito pequena se comparada com as parcelas causadas pelo próprio corte de material pelos gumes principais e pelo atrito entre as guias e a parede do furo. Sendo assim, nem sempre é possível medir a variação de momento causada por este tipo de desgaste (BORILLE, 2005).

### **2.6.2. Critérios de fim de vida da ferramenta**

A fixação do ponto representativo do fim de vida de uma ferramenta é fundamental no estudo da usinabilidade. Na prática e nos ensaios em laboratório são utilizados diversos critérios, que determinam com maior ou menor grau de exatidão este ponto. A escolha do critério depende de vários fatores, tais como exigências da usinagem, material da ferramenta (STEMMER, 1995).

A vida de uma ferramenta pode ser considerada como o tempo produtivo durante o qual a aresta de corte usinará o material dentro de parâmetros determinados com qualidade que compreende rugosidade superficial, a exatidão dimensional e geométrica, o estado da ferramenta e a formação do cavaco. A vida da ferramenta

está no limite quando se perde o controle sobre os cavacos formados ou quando o desgaste que se desenvolve atinge um estágio onde o risco de uma quebra rápida da aresta é iminente (BORILLE, 2005).

Deve-se levar em conta uma série de fatores para determinar o critério de fim de vida, os mais comuns são:

- Falha completa da ferramenta;
- Falha preliminar da ferramenta;
- Largura da marca de desgaste no flanco;
- Vibrações intensas da peça ou ferramenta, ruídos fortes por vibrações na máquina;
- Profundidade da cratera;
- Deficiência no acabamento da superfície;
- Formação de rebarbas;
- Forma dos cavacos;
- Alteração dimensional da peça;
- Alteração da força de corte, torque ou potência;
- Aumento da força de avanço;
- Aumento da temperatura do gume e;
- Temperatura.

## **2.7. Fluido de corte na operação de alargamento**

As duas principais funções dos fluidos de corte são: lubrificar o corte em baixas velocidades e refrigerar a ferramenta em altas velocidades de corte. Funções secundárias seriam a retirada dos cavacos provenientes da operação de usinagem e proteger tanto máquina como ferramenta da oxidação (MACHADO; DA SILVA, 2001).

Acredita-se que nas operações de alargamento a maior influência dos fluidos de corte está na lubrificação quando comparado com a refrigeração (YAMADA, 2010).

Com a substituição de um fluido de corte mineral por outro vegetal foi possível observar uma redução de 50% no torque, e de 8  $\mu\text{m}$  para 2  $\mu\text{m}$  na rugosidade média das paredes de furos alargados em aços com altos teores de cromo (ZENG, 1996).

Há algumas alternativas para minimizar a quantidade de fluido de corte nas operações de usinagem, como por exemplo, a técnica de Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL) e usinagem com jato de refrigeração de alta pressão, técnicas pelas quais há bons resultados quando comparados, principalmente, a usinagem sem qualquer tipo de lubrificação e em alguns casos a técnica MQL mostrou-se com melhores resultados que a aplicação abundante de fluido de corte. (ZEILMANN, 2003).

Um dos argumentos da utilização da técnica MQL é a tendência mundial de redução e/ou eliminação de fluidos na usinagem devido a problemas ambientais, com operadores, pois o contato com a pele pode causar irritações da pele ou até mesmo câncer (TAWAKOLI *et al*, 2009; TAWAKOLI *et al*, 2010).

## **2.8. Condicionadores metálicos**

Vários autores citam a diminuição do atrito como um dos fatores de aumento da vida útil da ferramenta (DA MOTA *et al*, 2011; REIS, 2005; BEZERRA *et al*, 2002).

A ciência que estuda o movimento relativo entre duas superfícies metálicas quando estas entram em contato devido ao atrito denomina-se tribologia e uma das maneiras de diminuir os efeitos do desgaste é a introdução de lubrificante com baixa taxa de cisalhamento entre as superfícies (SALES *et al*, 2011).

De acordo com Demétrio (2012) uma maneira de diminuir o desgaste entre duas superfícies é a inserção de uma camada lubrificante líquida ou sólida entre duas superfícies e, dependendo da aplicação, a lubrificação sólida é a que apresenta maiores vantagens em relação à diminuição do atrito, pois uma vez formada a camada de lubrificante, haverá a possibilidade de presença entre as partes em contato.

Uma das vantagens do fluido lubrificante sólido em relação ao líquido é a temperatura de trabalho que pode alcançar até 1000°C, mantendo o coeficiente de atrito baixo (DA CUNHA, 2012).

É possível combinar lubrificantes sólidos e líquidos que em alguns casos podem ser uma estratégia interessante, pois há a possibilidade de ocorrer a sinergia de propriedades reduzindo o coeficiente de atrito. Em condições de pressões extremas são utilizados lubrificantes sólidos (SILVÉRIO, 2010).

Os produtos químicos que são propositadamente adicionados a um óleo para melhorar suas propriedades são chamados aditivos, que por sua vez, podem mudar as propriedades de um lubrificante e são essenciais para o seu desempenho global. Eles também auxiliam nas características específicas do lubrificante como a tendência à corrosão, formação de espuma, oxidação, coagulação, desgaste, atrito e outras propriedades (SANTANA *et al*, 2010).

Já os condicionadores metálicos podem ser empregados quando se deseja diminuir o atrito, proteger a peça contra intempéries, servir de metal base para outro material de maior resistência ou melhores propriedades e, em alguns casos, auxiliam na diminuição da fadiga dos metais (DOS ANJOS, 2012; KRIONI, 2012).

Existe no mercado um condicionador de metais, Militec-1, que não é considerado um aditivo para fluidos. Possui viscosidade similar aos fluidos sintéticos, porém ao adicioná-lo no fluido de corte não altera as propriedades físico-químicas e nem o

intervalo de troca do óleo. Pode ser aplicado puro ou adicionado diretamente no lubrificante ou ainda em aplicações de usinagem e ferramentas de corte nas operações de torneamento. (DA SILVA, 2014).

No próximo tópico será abordado o tema viabilidade econômica e técnica nos processos de usinagem.

## 2.9. Método dos mínimos quadrados

Ao se obter uma sucessão de pontos experimentais que representados em um gráfico apresentam comportamento linear, diferentes experimentadores poderão traçar diferentes retas, encontrando diferentes valores para os coeficientes linear e/ou angular. Um método para determinar a reta correta é dado pelo método dos mínimos quadrados (ASANO, 2009; COLLI, 2009).

Este método consiste em determinar o coeficiente angular  $a$  e o coeficiente linear  $b$  da equação da reta:

$$y = ax + b \quad (1)$$

Em geral, a relação entre duas grandezas físicas não é linear, e é fundamental descobrir de que tipo é e quais são os parâmetros que a caracterizam.

O ajuste de curvas pelo método dos mínimos quadrados é independente da avaliação do experimentador. Este método consiste em minimizar o erro quadrático médio  $S$  das medidas. Então um conjunto de  $n$  medidas  $(x_i, y_i)$ , com  $i$  assumindo valores inteiros desde 1 até  $n$ . O valor de  $S$  é definido como:

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta S_i = \sum_{i=1}^n (y_i - y_1)^2 \quad (2)$$

Sendo que  $y$  é o valor da curva da reta ajustada. O objetivo é somar os  $\Delta Si$  das  $n$  medidas e traçar uma reta que torne a soma dos  $\Delta Si$  mínima. Matematicamente isso corresponde a  $a = \frac{\partial S}{\partial a} = 0$  e  $\frac{\partial S}{\partial b} = 0$ . Para que isso aconteça a reta desejada deve passar entre todos os pontos experimentais. Das Equações 3 e 4 é possível extrair os valores dos parâmetros  $a$  e  $b$  (ASANO, 2009; COLLI, 2009).

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i y_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (4)$$

### **3. MÉTODO DE PESQUISA**

A metodologia adotada neste trabalho foi a pesquisa experimental por tratar de um tipo de pesquisa que envolve grupos de controle, seleção aleatória e manipulação de variáveis independentes e tem como finalidade testar hipóteses que dizem respeito à convicção do pesquisador. É considerado um bom exemplo de pesquisa científica pelo elevado nível de controle da situação, desta forma, é possível isolar todas as estruturas de qualquer interferência do meio exterior, gerando maior credibilidade aos resultados evitando interpretações ambíguas (GIL, 2010; NAKANO, 2012).

Existem aspectos positivos e negativos sobre o fato de as variáveis poderem ser analisadas em ambientes preparados. Positivo, pois proporciona credibilidade já que praticamente não existe a interferência do meio propiciando total autonomia sobre o objeto de estudo ao pesquisador. Negativo porque ao retirarmos o objeto de seu meio natural, comprometemos as análises, pois estas serão parciais e não aplicáveis nas relações fora do ambiente propiciado pelo pesquisador. No entanto a pesquisa de laboratório não é sinônimo de pesquisa experimental, ainda que a maioria das pesquisas de laboratório sejam experimentais (ANDRADE, 2002; KERLINGER, 1979).

Neste trabalho foi considerada uma variável única e independente que é o efeito do condicionador metálico no desempenho da operação de alargar sob duas condições:

- Condição 1: alargadores que receberam um banho do condicionador metálico em suas arestas de corte;
- Condição 2: alargadores convencionais (sem o condicionador metálico).

Todos os demais parâmetros de processo foram mantidos inalterados para as condições testadas.

### 3.1. Materiais e métodos

Tanto o material do corpo de prova como máquina, ferramentas de corte e instrumentos de medição são de uso comum em atividades de usinagem, os quais são descritos a seguir:

- **Máquina:** centro de usinagem vertical Romi modelo Discovery 560, com comando Fanuc OiTc e programação com ciclos fixos de furação e mandrilamento (G80 – G89), conforme Figura 13:

Figura 13 - Centro de usinagem utilizado no experimento.



Fonte: O autor.

Quadro 1 – Características técnicas da máquina.

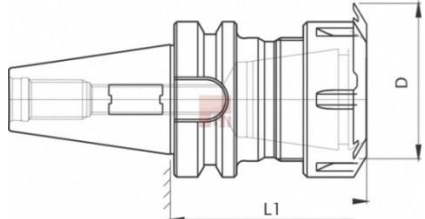
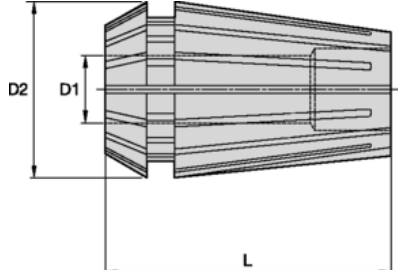
Avanços (m/min)	
Avanço rápido (eixos X / Y)	30
Avanço rápido (eixo Z)	20
Avanço de corte programável	1 a 15
Faixa de velocidades	
Rotações por minuto	6 a 6000
Potência nominal (cv / kW)	
Motor principal CA	15/11

Fonte: Industrias Romi S/A; 2008



- **Sistema de fixação:** foi utilizado para a fixação da ferramenta de corte um porta pinça do tipo BT40-ER16-100, conjugado com uma pinça de fixação ER16, ambos em conformidade com a DIN6499 e apresentados na Figura 14.

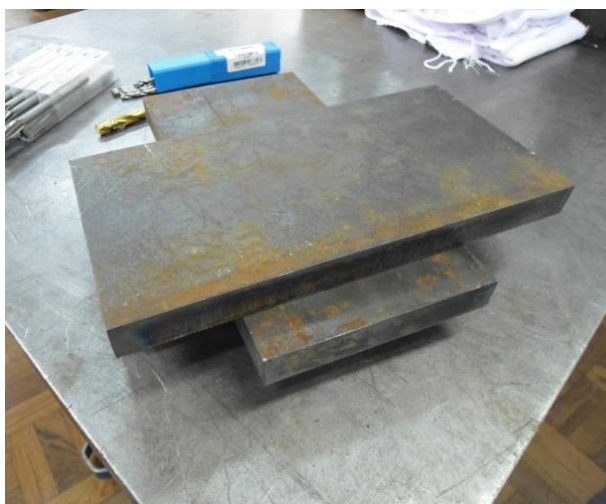
Figura 14 - Especificações do sistema de fixação.

Porta pinça		
	Terminologia	Dimensões/Características
	L1	100 mm
	D	28 mm
	código	BT40-ER16-100
Pinça		
	D1	8 mm
	D2	17 mm
	L	27,5 mm
	Capacidade máxima	8 mm
	Capacidade mínima	7 mm
	código	16ER080M

Fonte: Ingatools, 2013

- **Corpo de prova:** a Figura 15 ilustra o material utilizado como corpo de prova que consiste em uma placa de aço ANSI 4340, medindo 20 x 168 x 318 mm, capaz de receber 406 furos passantes com diâmetro de 8H7, dispostos matricialmente em 14 linhas e 29 colunas, conforme a figura16;

Figura 15 - Corpo de prova (aço ANSI 4340).



Fonte: O autor.

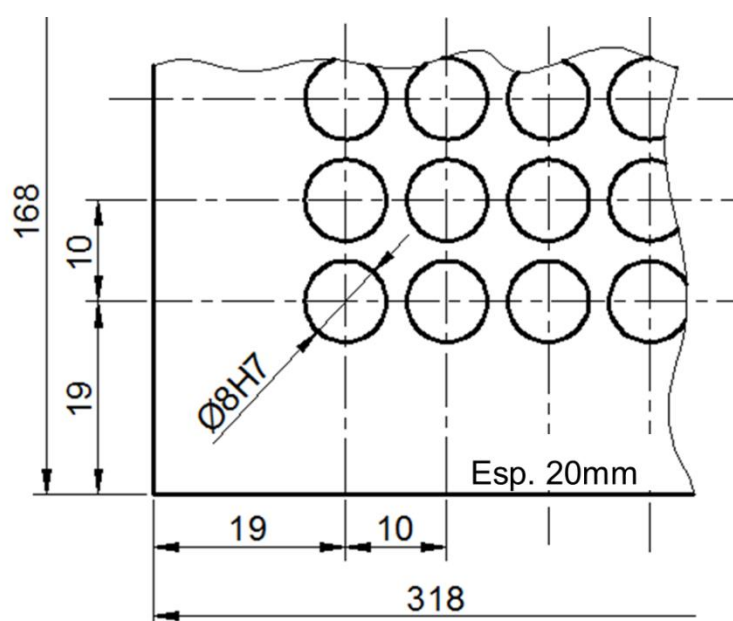
O Quadro 2 apresenta o valor percentual médio da composição química do aço ANSI 4340.

Quadro 2 - Percentual dos componentes químicos do aço ANSI 4340

Composição química do aço ANSI 4340 (%)							
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
0,37–0,43	0,15-0,35	0,60-0,80	≤ 0,025	≤ 0,025	0,70–0,90	1,65-2,00	0,20-0,30

Fonte: Schmolz & Bickenbach, 2014.

Figura 16 - Disposição dos furos no corpo de prova.



Fonte: O autor.

- **Broca para centrar:** a marcação da furação no material foi feita com uma broca para centrar da marca Lenox Twill, de aço rápido.

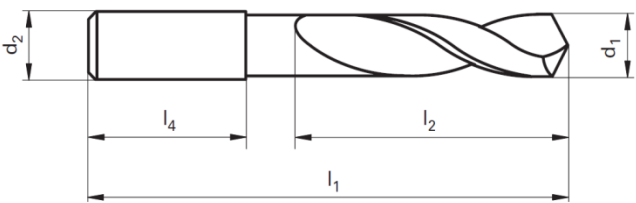
Quadro 3 - Broca utilizada para marcar a posição dos furos no corpo de prova.

Broca para centrar		
	Terminologia	Dimensões/Características
	d1	2,15 mm
	d2	8,0 mm
	L1	50 mm
	L2	3,9 mm
	código	42726

Fonte: Lenox Twill, 2012.

- **Broca helicoidal inteira de metal duro:** o pré-furo foi usinado utilizando-se uma broca de metal duro da marca Seco. Suas características estão descritas no Quadro 4.

Quadro 4 - Especificação da broca utilizada no pré-furo.

Broca de metal duro		
	Terminologia	Dimensões/Características
	d1	7,8 mm
	d2	8,0 mm
	l1	188 mm
	l2	137 mm
	l4	36 mm
	Refrigeração interna?	SIM
	código	SD216A-7.8-120-8R1

Fonte: Seco Tools.

- **Ferramenta de corte (Alargador):** marca Dormer, construído em aço rápido foi utilizado nos ensaios para alargar os furos com diâmetro de 8H7, de acordo com a norma DIN 212.

As principais características dos alargadores utilizados estão descritos na Figura 17 e no quadro 6, respectivamente:

Figura 17 - Alargador para máquina.



Fonte: Macec, 2012

Quadro 5 - Dados do alargador.

Terminologia	Dimensões / Características
$d_1$	8 mm
$l_1$	115 mm
$l_2$	58 mm
Z	6
Sentido de corte	direita
haste	cilíndrica
uso	máquina

Fonte: Dormer, 2010.

- **Calibrador do tipo Tampão PNP – Passa não passa:** conforme Figura 18, utilizado para a verificação da qualidade dimensional dos furos acabados que foram calibrados no diâmetro de 8H7.

Figura 18 - Calibrador tampão PNP para furos 8H7.



Fonte: O autor.

- **Fluido refrigerante:** todos os processos de corte foram executados com refrigeração abundante, e pressão de 60 Bar. O fluido utilizado foi da marca Hysol R, da Castrol Lubrificantes, com concentração de 5 a 6% e pH entre 8,0 e 9,0.
- **Micrômetro interno de 3 contatos:** utilizado para verificar o valor do sobremetal do pré-furo antes da operação de alargamento. A Figura 19 apresenta o micrômetro, utilizado no ensaio. Com capacidade de medição de 6 a 8 mm, resolução de 0,001 mm e exatidão de 0,002 mm da marca Mitutoyo, série 368.

Figura 19 - Micrometro interno de 3 contatos.



Fonte: Mitutoyo, 2011

**Estereoscópio:** marca Leica, modelo S6D, com poder de ampliação de até 80 vezes.

Figura 20 - Estereoscópio.



Fonte: O autor

### 3.2. Método

Para a realização deste trabalho foram utilizados 24 alargadores na primeira bateria de ensaios, e posteriormente outros 4 alargadores em uma segunda bateria de ensaios, em todos os casos os agarradores foram testados em duas condições:

- Condição 1 – 12 alargadores com o banho do condicionador;

- Condição 2 – 12 alargadores sem o banho do condicionador.

Na primeira bateria de ensaios, para cada condição, foram selecionados 4 alargadores que foram submetidos à operação de alargamento da seguinte forma:

- alargador 1 – usinou de 1 a 50 furos;
- alargador 2 – usinou de 1 a 100 furos;
- alargador 3 – usinou de 1 a 150 furos;
- alargador 4 – usinou de 1 a 200 furos.

Foram realizadas mais duas réplicas de cada condição, daí a utilização dos 24 alargadores.

Após a finalização dos ensaios foi feita a medição das arestas de corte principais em todos os alargadores com auxílio de um estereoscópio.

Num segundo momento, foi realizada uma segunda bateria de ensaios com mais 4 alargadores, sendo 2 em cada condição, objetivando identificar a vida dos alargadores em cada condição.

As baterias de ensaios foram realizadas de acordo com as seguintes etapas:

**Etapas 1** – para a determinação da quantidade e posicionamento dos furos na placa de aço foi considerado um espaço nas bordas do material de 15 mm para a fixação do mesmo na mesa do centro de usinagem e 2 mm de distância entre os furos, desta forma, foi possível estabelecer uma matriz de marcação de posição, baseada em 14 linhas e 29 colunas, totalizando 406 furos, por placa conforme a Figura 16;

**Etapas 2** – os alargadores foram escolhidos por intermédio de sorteio. As embalagens individuais dos alargadores foram identificadas e colocadas em uma caixa com tampa onde um a um foram retirados e assim ordenados. Cada alargador retirado foi identificado e na ordem sorteada foram submetidos à usinagem. Os doze primeiros foram determinados como

sendo os alargadores que não receberão o banho do condicionador metálico e os doze últimos receberão o banho do condicionador metálico;

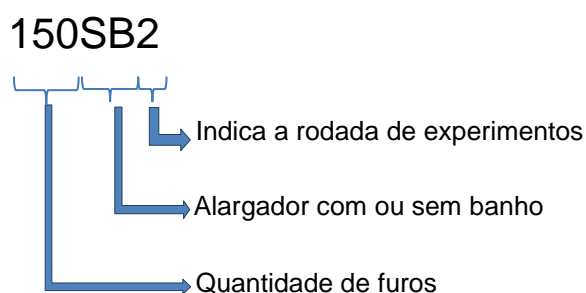
**Etapa 3** – após o sorteio, os doze alargadores foram separados para o início do procedimento para o banho com o condicionador metálico. Os alargadores foram mergulhados em um recipiente com o condicionador metálico, de tal forma que todo o comprimento de corte do alargador recebeu uma fina película do condicionador. Posteriormente os alargadores foram levados até o forno elétrico permanecendo em seu interior por 30 minutos a uma temperatura de 80 °C.

**Etapa 4** – A quantidade de condicionador metálico utilizado nos doze alargadores foi medido utilizando-se uma balança analítica de precisão. A quantidade média utilizada por alargador foi de 3,30 gramas.

**Etapa 5** – para possibilitar a rastreabilidade, os alargadores foram nomeados com códigos individuais que os identificam da seguinte forma:

- a) os três primeiros números identificam a quantidade de furos realizados pelo alargador;
- b) as duas letras seguintes identificam se o alargador recebeu o banho com a aplicação do condicionador: CB (com banho) e SB (sem banho);
- c) o último número identifica a rodada de experimentos.

Exemplo: Alargador que usinou 150 furos, não recebeu o banho do condicionador e é pertencente a 2ª rodada de experimentos.



O Quadro 7 mostra a identificação dos alargadores:

Quadro 6 - Identificação dos alargadores.

Rodada	Alargador	Quantidade de Furos	Uso do Condicionador?	Identificação do alargador
1ª	1	50	NÃO	050SB1
	2	100		100SB1
	3	150		150SB1
	4	200		200SB1
2ª	5	50		050SB2
	6	100		100SB2
	7	150		150SB2
	8	200		200SB2
3ª	9	50		050SB3
	10	100		100SB3
	11	150		150SB3
	12	200		200SB3
4ª	13	50	SIM	050CB1
	14	100		100CB1
	15	150		150CB1
	16	200		200CB1
5ª	17	50		050CB2
	18	100		100CB2
	19	150		150CB2
	20	200		200CB2
6ª	21	50		050CB3
	22	100		100CB3
	23	150		150CB3
	24	200		200CB3

Fonte: O autor

**Etapa 6** – a posição dos furos na placa foi inserida na programação da sub-rotina específica de furação do comando do centro de usinagem;

**Etapa 7** – com o material e as ferramentas de corte fixadas na máquina iniciou-se o processo pela broca para centrar, que marcou a posição dos 406 furos no material girando a 1000 rpm e 0,03 mm/rot;



- Etapa 8** – na sequência ocorreu o pré-furo de diâmetro de 7,8 mm, em todas as marcações. Ao longo do desenvolvimento de cada pré-furo foi considerado na sub-rotina de programação da furação, um incremento de usinagem de 5 mm e posterior retorno da broca para limpeza do furo e refrigeração, até a passagem total da ponta da broca pela espessura do material. Nesta operação a broca usinou a 1020 rpm e avanço de 0,06 mm/rot;
- Etapa 9** – para garantir a uniformidade do sobremetal, a cada 50 furos houve uma medição, com o auxílio do micrômetro interno de três contatos. Todo o processo de furação foi desenvolvido com fluido refrigerante abundante;
- Etapa 10** –após o término dos pré-furos iniciou-se a operação de alargamento. Para esta operação a máquina executou a furação com uma rotação de 500 giros por minuto, algo em torno de 12 m/min, e um avanço de 0,2 mm/rot de acordo com a recomendação do fabricante;
- Etapa 11** – o controle dimensional do diâmetro do furo, após o alargamento, foi feito por intermédio de um calibrador tampão do tipo PNP;
- Etapa 12** – as medições dos desgastes das seis arestas de corte de cada alargador foram feitas com o auxílio de um estereoscópio. O valor médio encontrado foi utilizado para análise e comparação dos valores;
- Etapa 13** – de posse dos valores dos desgastes foi calculado, por intermédio do método dos mínimos quadrados, um valor projetado de desgaste que iguala as condições dos alargadores;
- Etapa 14** – foi efetuado o levantamento dos custos considerando apenas o valor unitário do alargador e da quantidade de condicionador utilizada. Outras variáveis por serem comuns nas duas condições não foram consideradas.
- Etapa 15** – um novo ensaio foi feito para analisar quantos furos um alargador de 8 mm consegue usinar dentro da tolerância H7. Para isso foram utilizados outros 4 alargadores. Para o desenvolvimento deste ensaio as foram repetidas as Etapas de 1 à 12, deste método.

O comportamento dos equipamentos utilizados assim como os resultados e considerações observadas a partir do desenvolvimento de cada etapa estão descritos no próximo capítulo.

4. RESULTADOS

Após a realização dos experimentos, os valores das medidas dos desgastes foram registrados na Tabela 1, medidas das arestas sem o banho, e na Tabela 3, medida das arestas com o banho.

A partir destes valores obteve-se o valor médio das seis arestas de cada alargador.

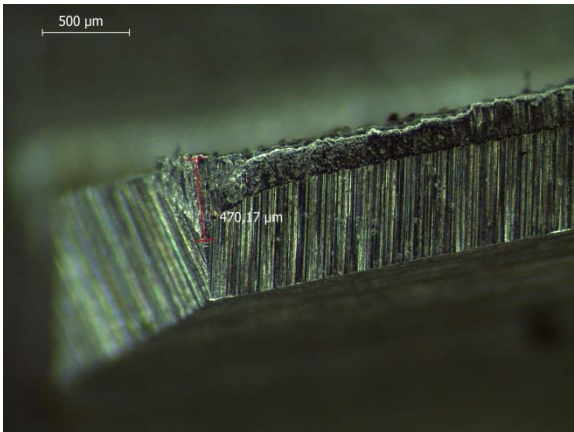
Tabela 1 - Resultados dos desgastes das arestas sem o banho do condicionador

	Desgastes em µm											
Aresta	50SB1	100SB1	150SB1	200SB1	50SB2	100SB2	150SB2	200SB2	50SB3	100SB3	150SB3	200SB3
1	142,48	204,81	384,21	470,17	147,38	217,58	336,44	486,96	136,58	211,68	364,24	474,24
2	166,43	265,64	386,25	475,18	158,64	278,59	374,68	491,55	142,61	243,94	381,28	482,57
3	176,07	278,42	395,52	493,04	166,9	289,17	389,88	501,54	169,87	276,66	391,57	511,68
4	177,60	296,00	398,48	529,83	172,13	313,58	401,74	517,58	181,50	357,68	401,35	512,21
5	182,40	339,22	409,85	588,65	183,69	346,89	411,89	578,79	186,41	367,41	412,54	596,48
6	192,06	369,95	424,98	600,66	195,73	377,64	438,95	615,38	201,36	372,35	417,88	622,41
$\bar{x}$	172,84	292,34	399,88	526,26	170,75	303,91	392,26	531,97	169,72	304,95	394,81	533,27

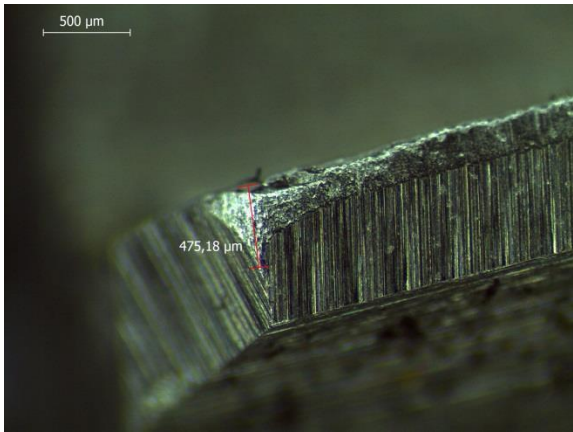
Fonte: O autor

Como exemplo, a Figura 21 apresenta as imagens das medições das seis arestas do alargador 200SB1.

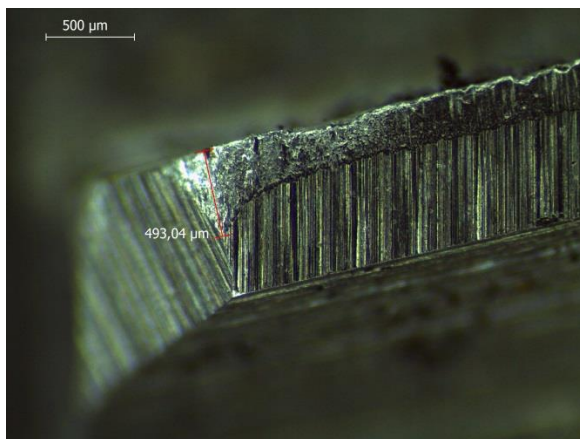
Figura 21 - Valores do desgaste das arestas de corte do alargador 200SB1



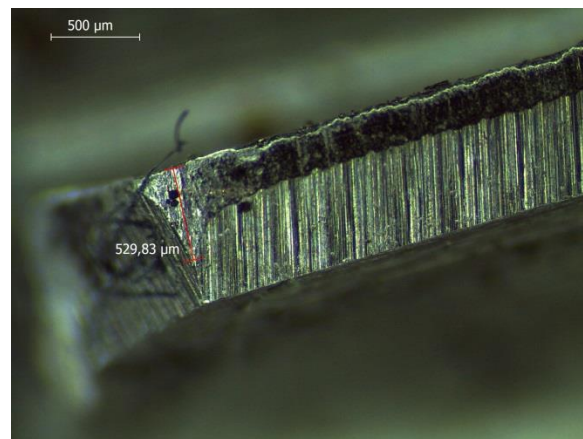
Aresta 1



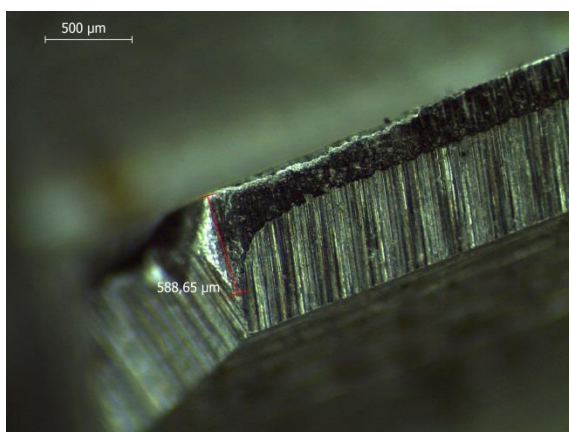
Aresta 2



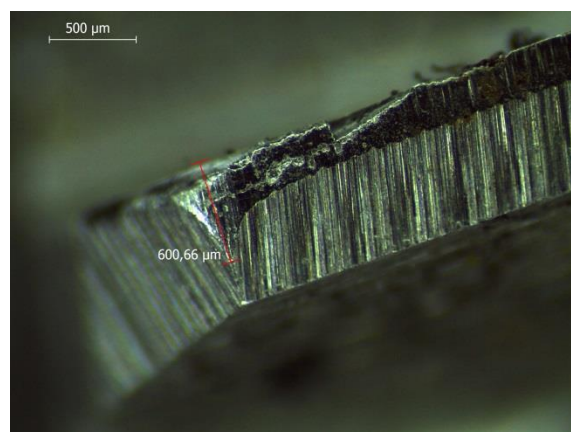
Aresta 3



Aresta 4



Aresta 5



Aresta 6

Fonte: O autor.

Os valores médios foram agrupados por quantidades de furos e reunidos na Tabela 2 e na Tabela 4, desta forma foi calculada a média das médias.

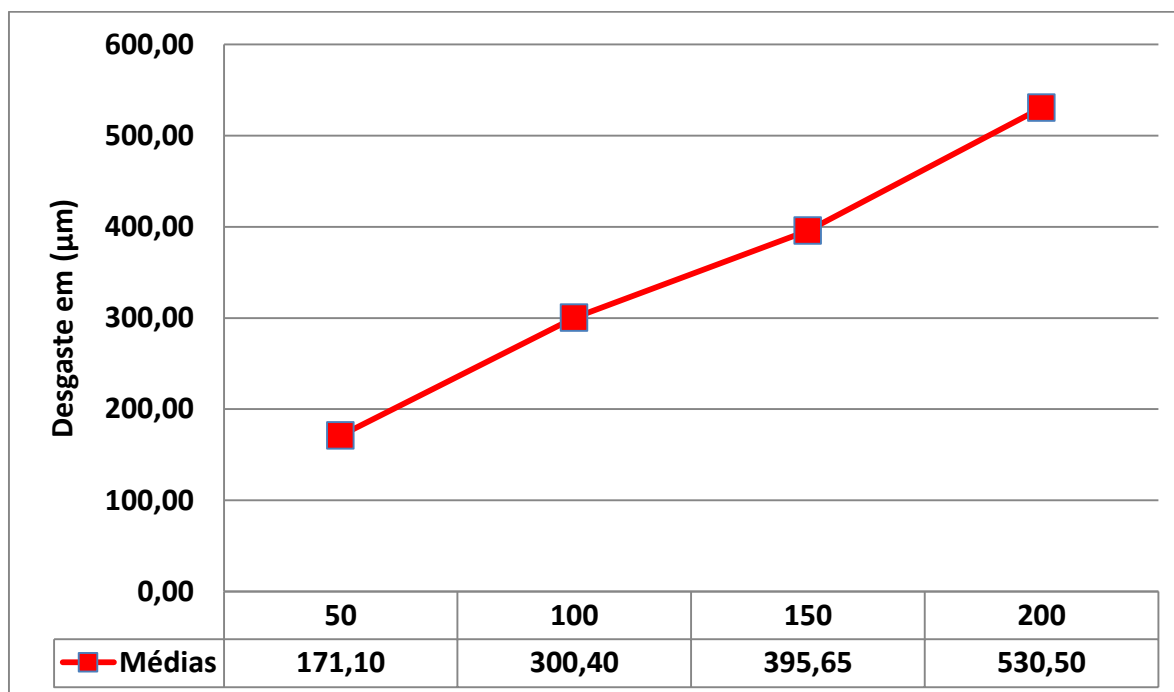
Tabela 2 - Média das médias dos desgastes das arestas sem o banho por quantidade de furos.

	Desgastes em µm			
	50 furos	100 furos	150 furos	200 furos
$\bar{X}$	172,84	292,34	399,88	526,26
$\bar{X}$	170,75	303,91	392,26	531,97
$\bar{X}$	169,72	304,95	394,81	533,27
$\bar{\bar{X}}$	<b>171,10</b>	<b>300,40</b>	<b>395,65</b>	<b>530,50</b>

Fonte: O autor.

A Figura 22 apresenta a evolução dos desgastes das arestas de corte dos alargadores sem o banho do condicionador.

Figura 22 - Evolução do desgaste das arestas.



Fonte: O autor.

É possível observar certa linearidade nesta evolução. Nas médias de 50 furos para 100 furos houve uma diferença de 129,30 μm, muito próxima da evolução de 150 furos para 200 furos que foi de 134,85 μm. As arestas que usinaram 100 furos para 150 furos obtiveram uma diferença menor, de 95,25 μm.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios com os alargadores que receberam o banho do condicionador metálico.

Ao confrontarmos os resultados de desgastes da Tabela 1, com os da Tabela 3, é possível perceber uma diferença significativa demonstrando um ganho a favor dos alargadores que receberam o banho do condicionador.

Tabela 3 - Valores dos desgastes das arestas com o banho do condicionador.

Aresta	Desgastes em $\mu\text{m}$											
	50CB1	100CB1	150CB1	200CB1	50CB2	100CB2	150CB2	200CB2	50CB3	100CB3	150CB3	200CB3
1	208,5	214,84	216,15	323,85	178,58	225,67	230,18	338,57	189,24	218,57	228,87	336,74
2	236,8	245,34	237,15	339,52	188,35	238,92	241,56	342,54	202,57	244,14	238,14	346,86
3	236,81	268,25	248,08	340,12	212,37	241,55	257,68	342,83	225,88	246,76	261,87	352,21
4	246,65	268,88	248,42	344,92	224,68	242,87	278,34	345,34	236,91	257,11	274,16	355,71
5	248,25	279,35	278,51	347,55	244,77	265,48	280,4	359,61	244,43	273,69	281,55	364,28
6	270,97	286,14	292,84	408,11	248,49	279,65	289,51	387,6	267,69	281,2	285,47	394,44
<b>Média</b>	<b>241,33</b>	<b>260,47</b>	<b>253,53</b>	<b>350,68</b>	<b>216,21</b>	<b>249,02</b>	<b>262,95</b>	<b>352,75</b>	<b>227,79</b>	<b>253,58</b>	<b>261,68</b>	<b>358,37</b>

Fonte: O autor.

A mesma diferença foi observada entre as Tabelas 2 e 3.

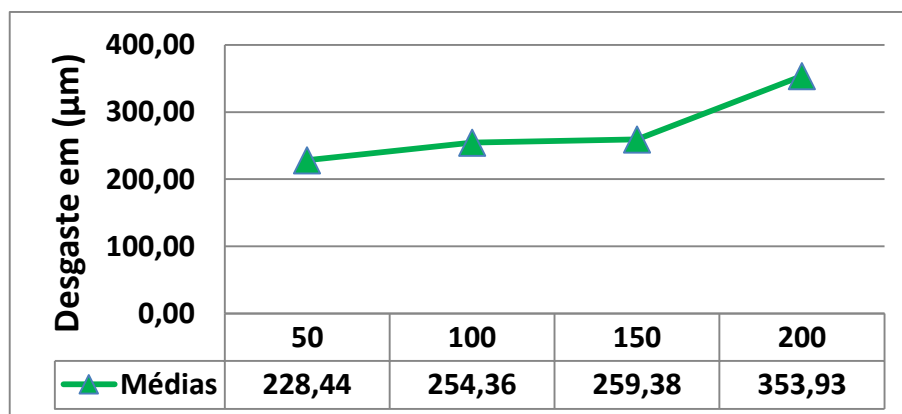
Tabela 4 - Média das médias dos desgastes por quantidade de furos.

	Desgastes em $\mu\text{m}$			
	50 furos	100 furos	150 furos	200 furos
$\bar{X}$	241,33	260,47	253,53	350,68
$\bar{X}$	216,21	249,02	262,95	352,75
$\bar{X}$	227,79	253,58	261,68	358,37
$\bar{\bar{X}}$	<b>228,44</b>	<b>254,36</b>	<b>259,38</b>	<b>353,93</b>

Fonte: O autor.

A Figura 23 apresenta a evolução dos desgastes das arestas de corte dos alargadores com o banho do condicionador.

Figura 23 - Evolução do desgaste das arestas.



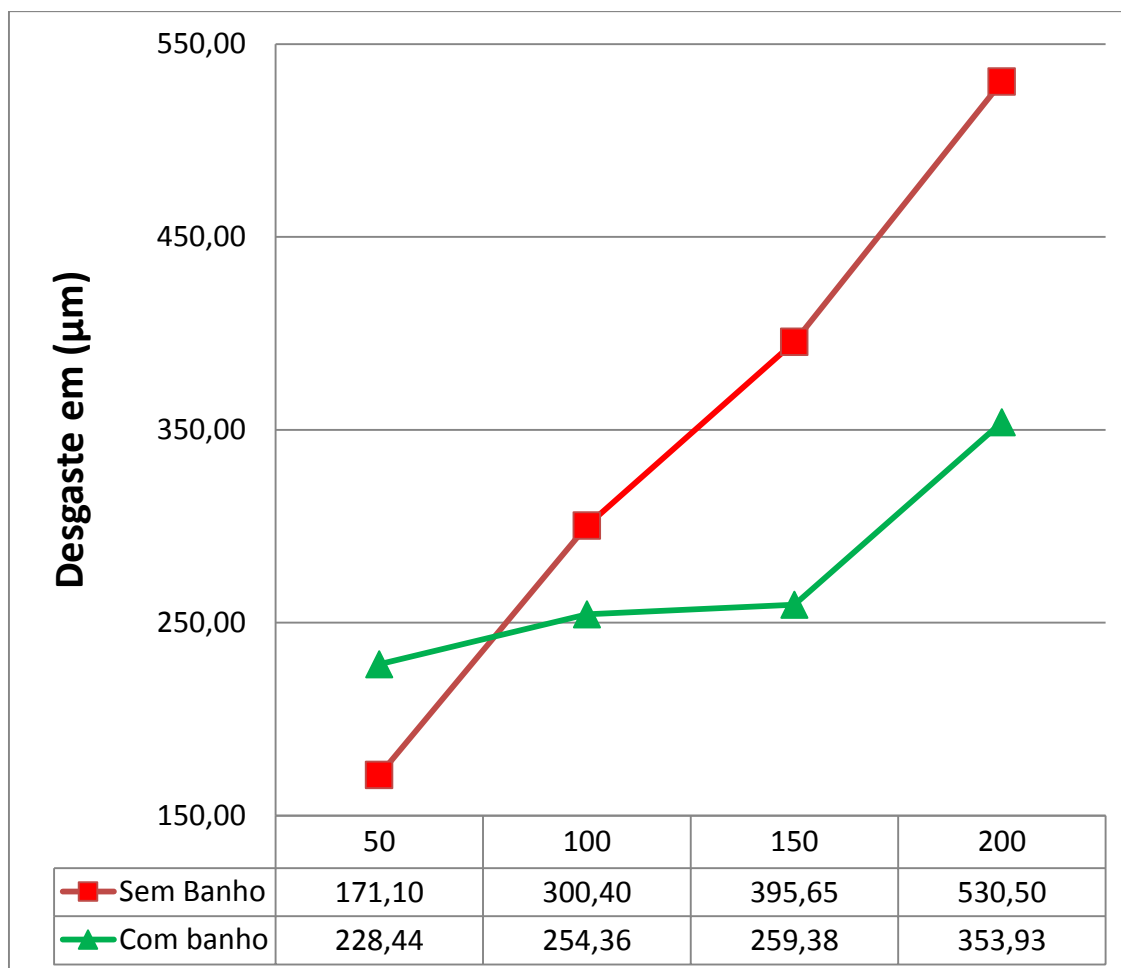
Fonte: O autor.

Nas médias de 50 para 100 furos houve uma diferença de 25,92  $\mu\text{m}$ . De 150 furos para 200 furos a diferença foi de 94,55  $\mu\text{m}$ . A diferença dos alargadores que usinaram 100 furos para 150 furos a diferença foi de 5,02  $\mu\text{m}$ , praticamente inexistente.

Ainda analisando a Figura 23, e dividindo a linha do gráfico em três partes é possível observar que o desgaste inicial foi pequeno, no segundo trecho praticamente não houve, porém no terceiro percebe-se um aumento acentuado.

A Figura 24 compara os desgastes entre os alargadores com o banho e sem o banho.

Figura 24 - Comparação entre as médias dos desgastes.



Fonte: O autor.

Ao comparar individualmente o comportamento dos resultados por furos usinados observa-se uma condição insatisfatória apenas nos alargadores que receberam o

banho do condicionador metálico, que usinaram 50 furos. Nas usinagens de 100 furos, 150 furos e 200 furos, obteve-se melhor condição nos alargadores que receberam o banho do condicionador.

De forma geral as diferenças de medida por furos usinados sem o banho e com o banho, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Diferença dos valores de desgaste.

	Sem banho ( $\mu\text{m}$ )	Com o banho ( $\mu\text{m}$ )	Diferença ( $\mu\text{m}$ )
<b>50 furos</b>	171,10	228,44	<b>-57,34</b>
<b>100 furos</b>	300,40	254,36	<b>46,04</b>
<b>150 furos</b>	395,65	259,38	<b>136,27</b>
<b>200 furos</b>	530,50	353,93	<b>176,57</b>

Fonte: O autor.

#### 4.1. Aplicação do método dos mínimos quadrados

Para que fosse possível o levantamento de custos por alargador foi determinado como critério de fim de vida o maior valor médio de desgaste observado nos alargadores sem o banho do condicionador metálico. Este valor refere-se à média dos desgastes dos alargadores que usinaram 200 furos, que é de 530,50  $\mu\text{m}$ , apresentado na Tabela 2.

Para que fosse possível encontrar a quantidade de furos necessários para igualar os valores de desgaste foram utilizados os valores médios de desgastes constatados nos alargadores com o banho que usinaram 150 e 200 furos, com os resultados médios de 259,38  $\mu\text{m}$  e 353,93  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

A Tabela 6 apresenta de forma organizada os valores utilizados no cálculo dos mínimos quadrados. Os valores apresentados como  $x$ , referem-se aos valores das quantidades de furos e os valores como  $y$ , referem-se aos valores médios de desgaste dos alargadores.



Tabela 6 - Somatórias dos valores de furos e desgastes.

$x$ (Quant. furos)	$y$ (desgaste em $\mu\text{m}$ )	$x*y$	$x^2$
150	259,38	38907	22500
200	353,93	70786	40000
$\Sigma x = 350$	$\Sigma y = 613,31$	$\Sigma x.y = 109693$	$\Sigma x^2 = 62500$

Fonte: O autor.

Os valores das somatórias da Tabela 6 foram substituídos nas Equações 3 e 4 resultando nas Equações 5 e 6, respectivamente, obtendo-se o valor do coeficiente angular ( $a$ ), e do coeficiente linear ( $b$ ).

$$a = \frac{(2 \times 109693) - (350 \times 613,31)}{2 \times 62500 - 350^2} = 1,89 \quad (5)$$

$$b = \frac{(62500 \times 613,31) - (109693 \times 350)}{2 \times 62500 - 350^2} = -24,27 \quad (6)$$

Substituindo os valores dos coeficientes na Equação 1 é possível encontrar a função utilizada para determinar a quantidade de furos necessários para que seja atingido o mesmo valor médio de desgaste (530,50  $\mu\text{m}$ ), do alargador sem o banho.

$$y = 1,89x - 24,27 \quad (7)$$

Substituindo na Equação 7 o valor do desgaste médio do alargador sem o banho é possível encontrar a quantidade de furos necessários para igualarmos os desgastes.

$$\begin{aligned} 530,50 &= 1,89x - 24,27 \\ x &= 293,53 \end{aligned} \quad (8)$$

Serão necessários 293 furos para igualar os desgastes dos alargadores. Como o critério do ensaio é a avaliação do desgaste das arestas dos alargadores, a projeção de 293 furos, para o alargador com o banho, iguala os desgastes, ou seja, o

alargador com banho conseguirá furar o excedente de 93 furos até que seu desgaste iguale ao desgaste obtido pelo alargador sem o banho.

#### **4.2. Levantamento dos custos do alargamento**

Foram contabilizados apenas os custos dos alargadores envolvidos no processo e da aplicação do condicionador metálico utilizado, visto que o custo da hora máquina e de outros insumos envolvidos serem os mesmos para ambas as situações.

Para a determinação do custo na condição 1, utilizou-se o preço cotado junto ao fabricante do alargador e para a condição 2, foi acrescido o custo do condicionador.

O preço unitário de cada alargador é R\$145,90, valor obtido junto ao fabricante do alargador, sendo este considerado como o custo dos alargadores na condição 1. Já para alargadores na condição 2, foi acrescido o custo do condicionador metálico, totalizando um custo unitário de R\$148,40. O acréscimo monetário é de R\$2,50/alargador e está em função da quantidade, em gramas, de condicionador utilizado, como segue:

- 200 ml do condicionador tem massa de 184 g, valor obtido por intermédio de uma balança de precisão;
- o preço do condicionador em embalagem de 200 ml é de R\$100,00, conforme cotações realizadas junto aos fornecedores do condicionador;
- o valor do grama de condicionador é de R\$0,54, e foi obtido por meio do quociente do preço de 200 ml do condicionador (R\$100,00), pela massa do condicionador em 200 ml (184 g);
- a quantidade de condicionador utilizado em cada alargador é de 4,6 g, valor obtido por intermédio de uma balança de precisão;
- então, o produto da quantidade de condicionador por alargador (4,6 g) pelo valor do grama de condicionador (R\$0,54) remete ao acréscimo monetário por alargadores, que é de R\$2,50.

A Tabela 8 apresenta os valores do aumento de alargamentos produzidos, os valores do custo por alargamento e a redução proporcionada pelo uso do condicionador metálico.

Tabela 7 – Redução dos custos considerando a quantidade de furos projetados.

Alargadores	Qtd. de furos alargados	Aumento de alargamentos produzidos	Custo / alargador	Custo / alargamento	Redução do custo
Condição 1	200	46,5%	145,90	R\$0,73	30,14%
Condição 2	293		148,40	R\$0,51	

Fonte: O autor.

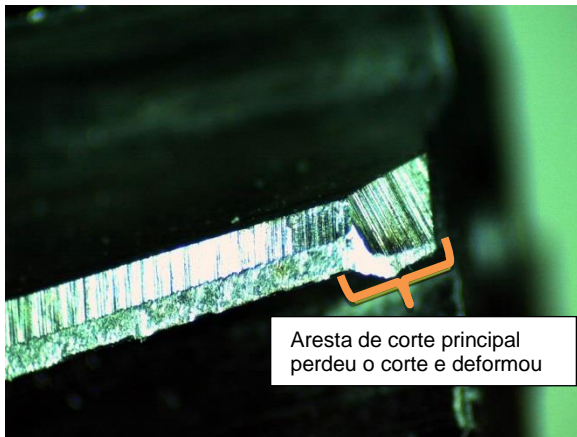
Observa-se a possibilidade de aumento de 46,5% nos alargamentos produzidos e uma redução de 30,14% nos custos do alargamento. O aumento do custo do alargador é de 1,7%.

#### 4.3. Segunda Bateria de Testes: determinação do fim de vida do alargador

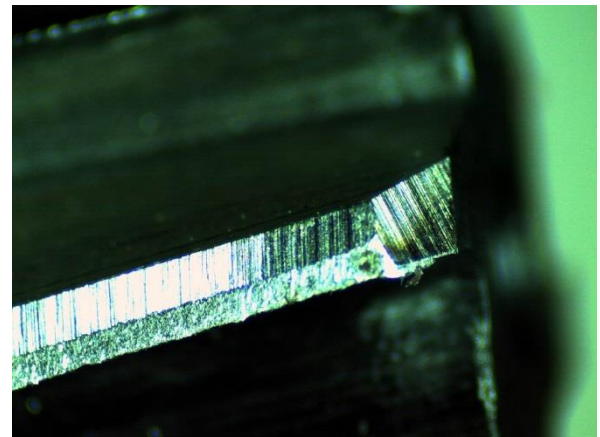
Com o intuito de analisar o fim de vida de um alargador um novo ensaio foi efetuado, porém até o fim de vida do alargador, para isso foi utilizado 4 alargadores: 2 com o banho e 2 sem o banho, que desta vez usinaram o material até o fim da vida do alargador.

A Figura 25 apresenta as imagens dos desgastes das 6 arestas de corte de um dos alargadores que usinou o material até o fim de vida.

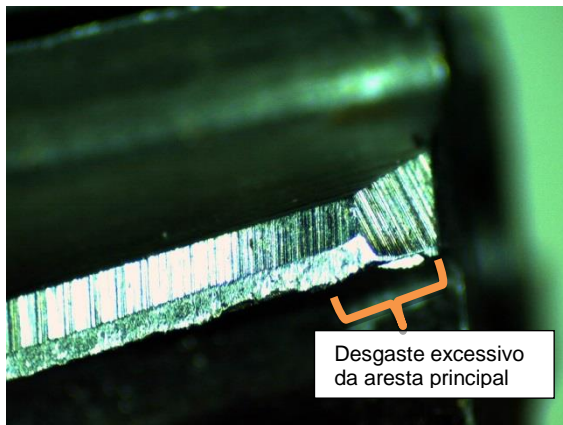
Figura 25 - Desgaste das arestas de corte dos alargadores 2ª bateria.



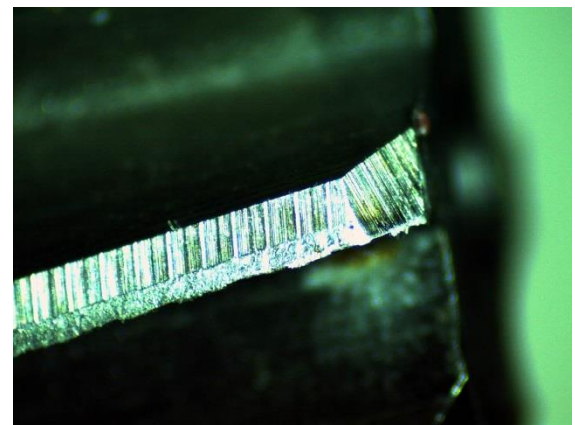
Aresta 1



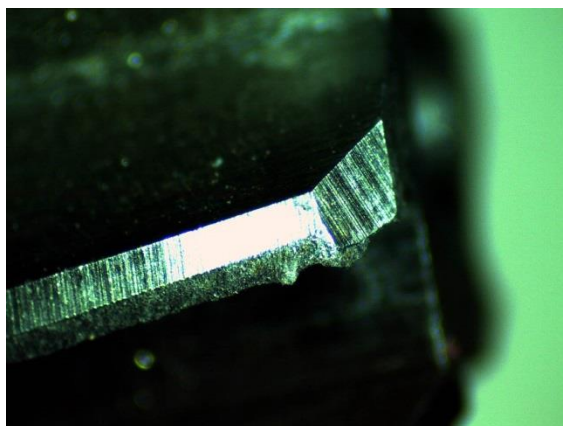
Aresta 2



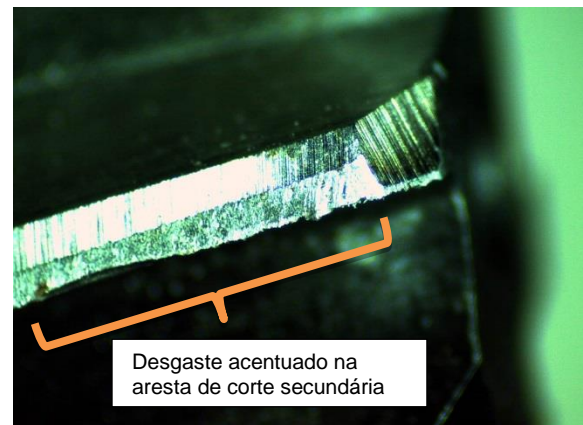
Aresta 3



Aresta 4



Aresta 5



Aresta 6

Fonte: O autor.

É possível perceber o desgaste excessivo da aresta de corte principal que por consequência acentua o desgaste na aresta secundária provocando um aumento do ruído e vibração durante a usinagem.

O controle da medida dos furos foi feito com um calibrador do tipo PNP, e os resultados dos furos bons obtidos estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 8 - Quantidade de furos obtidos com 4 alargadores até o fim da vida útil.

Alargadores	Com o banho?	Quantidade de furos bons
Alargador 1	Não	312
Alargador 2	Não	*363
Alargador 3	Sim	466
Alargador 4	Sim	395

\* Quebra do alargador

Fonte: O autor.

É possível notar que o rendimento na condição em que os alargadores receberam o banho foi maior. Mesmo comparando-se o melhor desempenho do alargador sem o banho (363 furos), com o pior desempenho do alargador com o banho (395 furos), ainda assim percebe-se uma vantagem de 32 furos.

Ao fim de vida de cada alargador foi percebido uma trepidação constante na ferramenta que contribui para aumentar o diâmetro do furo em até 0,02 mm acima da tolerância. O alargador 2, sem o banho, quebrou ao alargar 363 furos.

#### 4.4. Segunda Bateria de Testes: Levantamento de custos

As condições para o levantamento de custos desta bateria é semelhante à descrita no item 4.2., diferenciando-se apenas na determinação da quantidade de furos produzidos, que neste caso é a real.

Tabela 9 - Redução dos custos considerando a média da quantidade de furos reais.

Alargadores	Qtd. de furos alargados	Aumento de alargamentos produzidos	Custo / alargador	Custo / alargamento	Redução do custo
Condição 1	337	27,60%	145,90	R\$0,43	18,60%
Condição 2	430		148,40	R\$0,35	

Nesta bateria foi observada a possibilidade de aumento de 27,60% nos alargamentos produzidos e uma redução de 18,60%, nos custos do alargamento.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos é possível afirmar que:

- com a adição do condicionador metálico houve um acréscimo no custo por alargador de R\$2,50, o que representa um aumento de 1,7% no valor unitário do alargador;
- é possível produzir 46,5% mais furos alargados comparados com a produção dos alargadores sem o condicionador metálico;
- comparando os custos por alargamento percebe-se uma redução de 30,14%;
- devido os alargadores serem ferramentas de corte com alto poder de produção de furos, os ensaios limitaram-se a quantidade máxima de 200 furos;
- os ganhos provenientes da redução de trocas de ferramentas não foram contabilizados;
- os custos relacionados a processo para a adição do condicionado metálico não foi contabilizado;
- o ensaio de fim de vida do alargador reforça a vantagem do uso do condicionador demonstrado pela quantidade maior de furos dentro da tolerância requisitada;
- embora o aumento de alargamentos produzidos tenha diminuído na segunda bateria em 18,9%, o valor do custo por alargamento também diminuiu em R\$0,30 sem o condicionador e R\$0,16 com o condicionador;
- ao comparar as duas baterias a redução total dos custos, foi de 11,54%;
- nas duas baterias houve vantagem econômica na utilização do condicionador.

### **5.1. Propostas para trabalhos futuros**

Seguem algumas propostas para trabalhos futuros:

- realizar novos ensaios nas mesmas condições, porém utilizando um material com maior resistência ao desgaste, de tal forma que atinja o fim da vida útil do alargador mais rapidamente.
- utilizar alargadores de maiores diâmetros, o que pode reduzir a quebra dos mesmos permitindo uma análise mais completa do procedimento proposto;
- aplicar o procedimento proposto neste trabalho em outros processos de usinagem, principalmente os processos que utilizam baixa velocidade de corte.



## 6. REFERÊNCIAS

ALIAKBARI, M. **Additive Manufacturing: State-of-the-Art, Capabilities, and Sample Applications with Cost Analysis**. Master of Science Thesis, Production Engineering and Management, Department of Industrial Production - KTH, 2012.

ALMEIDA, D. O. **Investigação de desvios geométricos no alargamento de ferro fundido com ferramentas revestidas**. 2008. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

ANDRADE, M. M. ***Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação: noções práticas***. São Paulo: Atlas, 2002.

ASANO, C. H.; COLLI E. **Cálculo numérico – Fundamentos e Aplicações**. IME-USP, São Paulo, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR ISO 5420: Alargadores – Termos e definições e tipos**. Rio de Janeiro, 2010. 19p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR ISSO 3685: Tool-life testing with single-point turning tools**. Rio de Janeiro, 1993. 48P.

ASTAKHOV, V. P.; DAVIM, J. P. Metal Cutting Mechanics. **Tools (Geometry and Material) and Tool Wear**, edição 1998.

BORILLE, A. V. **Análise do alargamento de ferro fundido cinzento GG25 com ferramentas de metal-duro**. 2005. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BRUNI, A.L.; FAMÁ, R. **Gestão de Custos e Formação de Preços**. São Paulo: Atlas, 2004. 551 p.

CHEN, C. C. An objective-oriented and product-line-based manufacturing performance measurement. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 1, p.380-390, 2008.

DA CUNHA, J.T. **Estudo dos desgastes de rodas de pontes rolantes utilizadas em Siderurgia**. Tese de Mestrado programa de pós graduação em engenharia de minas, metalurgia e materiais – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

DA MOTA, P.R.; REIS, A.M.; MACHADO, A.R.; EZUGWU, E.O.; SILVA, M.B. Tool wear when tapping operation of compacted graphite iron Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: **Journal of Engineering Manufacture**, v. 227, n.11: pp. 1704-1713, sep – nov, 2013.

DA SILVA, E. N.; **Viabilidade econômica em processos de rosqueamento utilizando machos de roscar com condicionador metálico**. 2014. Dissertação de Mestrado - Universidade Nove de Julho, São Paulo.

DITU, V. **The radial beat and the wear at tools for reaming processing**. Academic Journal of Manufacturing Engineering, V.9, ISSUE 4/2011

DEMÉTRIO, V.B. **Desenvolvimento de aços auto lubrificantes via compactação de pós granulados**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina 2012.

DOS ANJOS, G.C.; **Utilização de matérias primas vegetais para a aplicabilidade como inibidores de corrosão**. 2012. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

FERRARESI, D. **Usinagem dos Metais**. 8º ed São Paulo, ABM, 1974.

FERREIRA, M. C., **Análise comparativa entre alargamento com ferramenta de gume único regulável e mandrilamento em ferro fundido nodular GGG40**. 2011. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal De Santa Catarina.

GIL, C.G. **Como elaborar projetos de pesquisa**, 5.ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

GUHRING. Herramientas de corte de precisión. **Catálogo do Fabricante**, edição 2002.

HANNA. **Catálogo do Fabricante** – Alargadores. 2003. 36p.

HECK, M., ORTNER, H.M., FLEGE, S., REUTER, U.; ENSIGNER, W. Analytical Investigations Concerning the Wear Behaviour of Cutting Tools Used for the Machining of Compacted Graphite Iron and Grey Cast Iron. **International Journal of Refractory Metals e Hard Materials**, 2007.

KRIONI, N.K. Frictional Properties of Metallic Surfaces Separated by a solid lubricant film at high temperature. **Russian Engineering Research**, v.32, n.1, p. 111-113, 2012.

LIMA JR, S. G., **Avaliação do desempenho de ferramentas de metal duro no Alargamento de Guias de Válvulas Automotivas**. 2009. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

MACHADO, A. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R.T.; DA SILVA, M. B., **Teoria da usinagem dos materiais**. 1 ed. São Paulo: EdgardBlucher, 2009. 371 p.

MARINELLI, M. F. **Método de quadrados mínimos**. 2002. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

METALS HANDBOOK: **Reaming**. Machining. 9<sup>th</sup>, American Society for Metals, p. 239-248, 1989, v.16.

MILITEC: Disponível em: < <http://www.militecbrasil.com.br>>. Acesso em: 22 fev. 2014, 9:19:56.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, R.C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**, 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 2003. 822p.

NAKANO, D. **Métodos de pesquisa adotados na engenharia de produção e gestão de operações**. In: CAUCHICK, P. A. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 63-72.

PANGRÁCIO, M. L., **Análise da Qualidade de Furos Realizados por Fresamento Helicoidal Interpolado**. 2003. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PEREIRA, I.C. **Análise do torque e da força axial, em diferentes condições de corte durante o rosqueamento de dois ferros fundidos cinzentos (CrCuSn e CrCuSnMo) e um ferro fundido vermicular da classe**. 2010. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

PEREIRA, A.A. **Análise do desgaste da ferramenta à base de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> na usinagem do ferro fundido cinzento FC 250 utilizando técnicas avançadas e de alta resolução**. 2010. Tese de Doutorado - Universidade Federal De Santa Catarina.

ROSA, V. A. O. **Investigação na operação de alargamento dos furos usinados em pistões de ferro-carbono sinterizado**. 2012. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SALES, M.H.; BRITO, L.C.; ANDRADE, P.S.; DUMONT, T.S; BRITO, J.N.; PORTES, D.F. Diagnóstico do estado de conservação de equipamentos industriais através da análise de óleo: casos de sucesso, **Anais...** XI Congresso de Engenharia Mecânica, Metalúrgica e Industrial, Porto Alegre, RS, ago. 2011.

SANTANA, J.S.; FARIAS, A.C.M.F.; DE SANTANA, J.S.; BARBOSA, C.R.F.; MEDEIROS, J.T.N. Estudo tribológico de óleos biodegradáveis de coco e rícino através de ensaios abrasivos. **Holos**, V.4, n.26, 2010.

SANTOS, R. G. **Avaliação do processo de alargamento de guias de válvulas**. 2004. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVA da R.B., ABRÃO A. M., MACHADO A. R. SILVA M. B. Alargamento cônico do ferro fundido nodular GGG40. **Revista Máquinas e Metais**, v.37, n. 430, p. 174-183, nov.2001.

SILVA, L.R.; COELHO, R.T.; CATAI, R.E. Desgastes de ferramentas no torneamento com alta velocidade de corte da superliga “wapaloy”. **Metalurgia e Materiais**, p. 109-114, 2004.

SILVÉRIO, M. **Comportamento tribológico de revestimento multifuncional CrN-DIC em atmosferas de gases refrigerantes**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

SHARMA,V.S.; DOGRA, M.;SURI, N.M. Cooling techniques for improved productivity in turning. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, p. 435–453, 2009.

SKF, Manual Técnico SKF, **SKF Ferramentas S.A.**, São Paulo, 1987.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte II**: brocas, alargadores, ferramentas de roscas, fresas, brochas, rebolos e abrasivos. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1992, p.314.

STEMMER, C.E. **Ferramentas de corte II**: brocas, alargadores, ferramentas de roscar, fresas, brochas, rebolos e abrasivos. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 326 p., 1995.

TAWAKOLI, T.; HADAD, M.J.; SADEGHI, M.H. Influence of oil mist parameters on Minimum Quantity Lubricant- MQL grinding process. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v.50, n.6, p.521-531, jun. 2010.

WEINERT, K.; ADAMS F.J.; BIERMANN, D.; THAMKE, D., Alargadores de Corte Único: Corte Mais Eficiente, Além de Vantagens Econômicas. **Revista Máquinas e Metais**. São Paulo: Editora MM LTDA, n. 392, p. 38-57, jan. 1998.

YAMADA, Y. **Melhoria da produtividade na obtenção de ligas de alumínio aeronáutico com ferramentas de aço rápido**. 2010. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ZEILMANN, R.P. **Furação da liga de titânio Ti6Al4V com mínimas quantidades de fluido de corte**. Tese de Doutorado - UFSC, Florianópolis, 2003.

ZEILMANN, R. P.; SANTIN, R.; FINIMUNDI, A. V. Efeitos de diferentes condições de aplicação de fluidos lubri-refrigerantes no desgaste de brocas de aço rápido. **Estudos Tecnológicos**, v.2 n.1 p.26-33, jan-jun, 2006.

ZENG, Z. Influence of cutting depth on resolving power of cutting fluid efficiency in reaming test, **ICPCG – Inst. Conf. on the Progress of Cutting Grinding**, Osaka, Japan, p. 296-300, 1996.